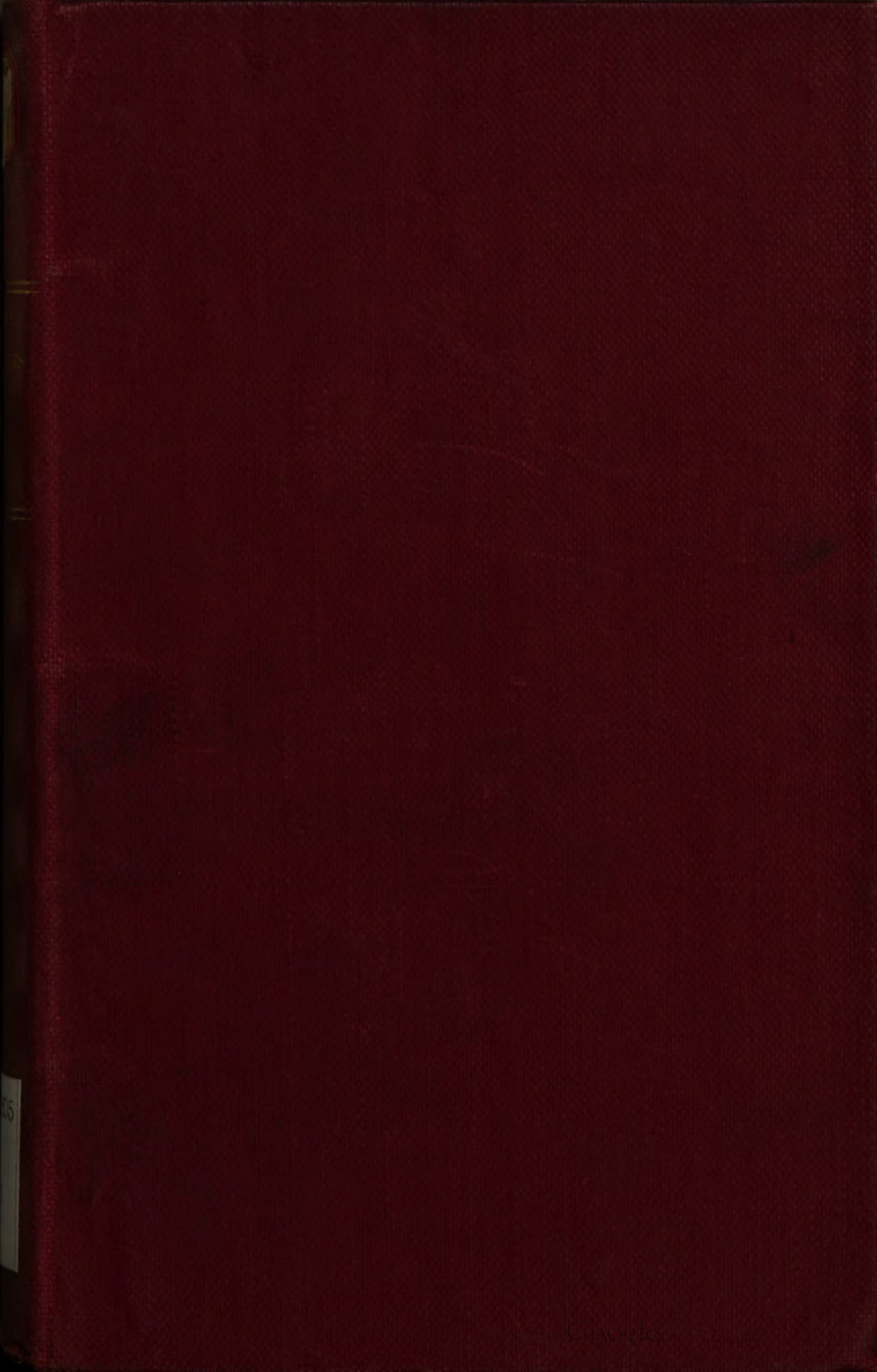
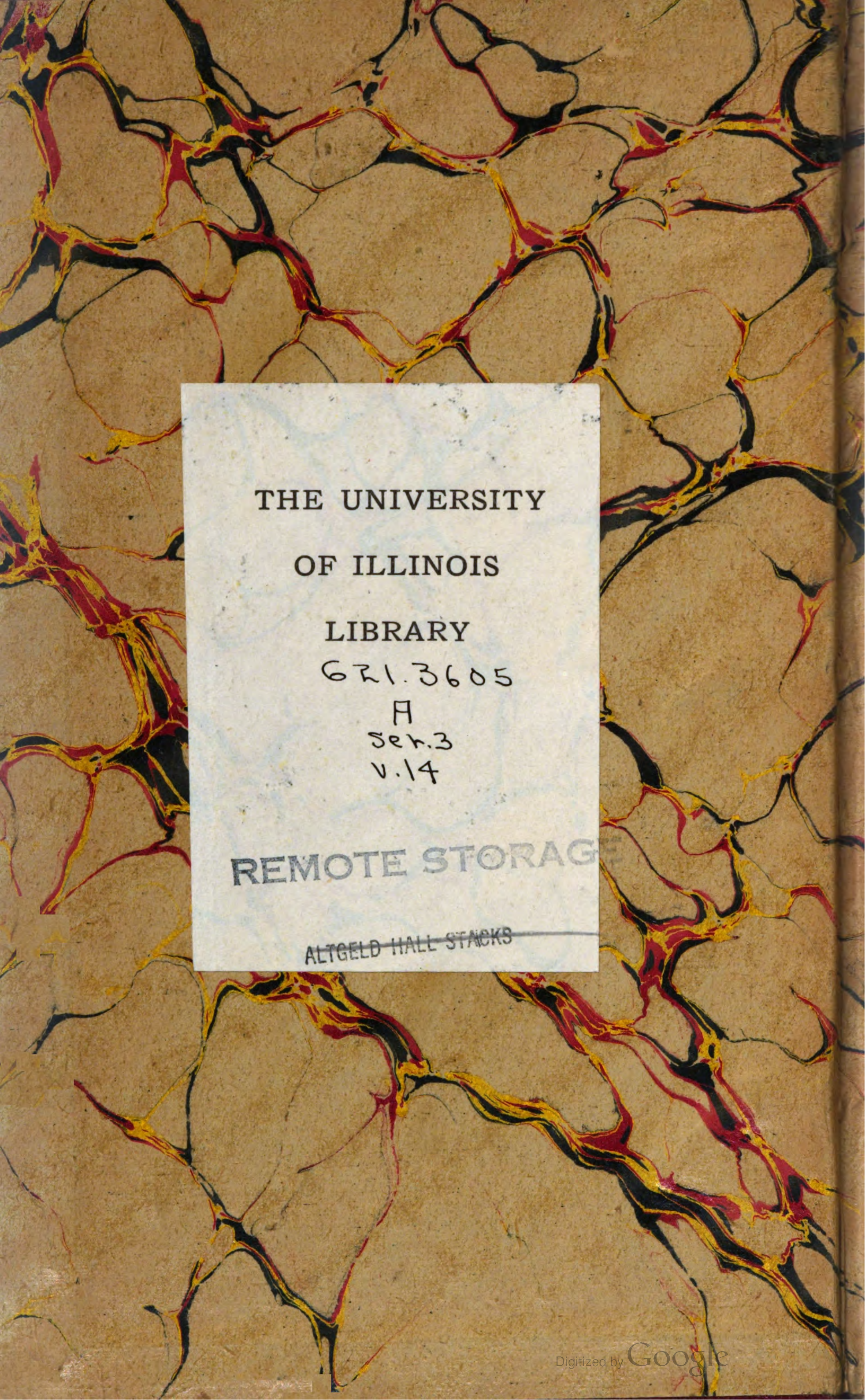






ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME XIV

Année 1887

PARIS

V[ve] Ch. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1887

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1887 Janvier-Février

NOTICE
SUR
LA CARRIÈRE ADMINISTRATIVE
ET
LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES
DE
E.-E. BLAVIER

BLAVIER (ÉDOUARD-ERNEST) est né à Paris, le 13 janvier 1826.

Son père, aujourd'hui inspecteur général des mines en retraite, le dirigea de bonne heure vers l'École polytechnique. En 1844, Blavier quittait le lycée de Douai, et entrait à cette École, où devaient le suivre, à un an de distance, son second frère, depuis ingénieur des mines et sénateur de Maine-et-Loire, et un peu plus tard, son autre frère, récemment décédé lieutenant-colonel d'artillerie. Le 1er novembre 1846, il débutait dans l'administration des lignes télégraphiques, en qualité d'élève-inspecteur.

L'année 1846 est une date mémorable dans l'histoire de la télégraphie électrique.

« C'est en 1846 qu'une compagnie (*) s'organisa en Angleterre pour exploiter la télégraphie... La France possédait un système de télégraphie aérienne bien organisé, suffisant à tous les besoins du gouvernement; elle ne tarda pas cependant à entrer dans la nouvelle voie. Dès 1844, par l'initiative de M. Alphonse Foy, et malgré des oppositions de tout genre, la ligne de Paris à Rouen fut construite; ce fut la première grande ligne électrique... Le succès de cette ligne, dû à MM. Alphonse Foy, Gounelle et Bréguet, contribua puissamment à l'avancement de la télégraphie. Les lignes de Paris à Orléans et de Paris à Lille furent établies en 1847 et en 1848. C'est donc à l'année 1846 qu'il faut faire remonter la date, sinon de l'invention de la télégraphie, au moins de son application sur une grande échelle avec des chances assurées de succès (**). »

Quant aux circonstances qui décidèrent sa carrière, Blavier les rappelle dans une brochure publiée en 1872; le passage mérite d'être cité en entier :

« La télégraphie électrique touche de près à la science : elle a pour fondement les lois et les propriétés de l'électricité, et chaque découverte nouvelle de la physique peut être une source de perfectionnement. Si l'on consulte les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, on pourra voir qu'il est peu de numéros où il ne soit question directement ou indirectement de la télégraphie électrique, d'appareils nouveaux, d'observations faites sur les lignes, etc. Qu'on parcourre les annales et journaux télégraphiques publiés en France et à l'étranger, et l'on reconnaîtra combien diverses sont les questions théoriques qui se rattachent à la télégraphie. Ce n'est pas tout : le réseau télégraphique est un admirable instrument d'observation, beaucoup trop négligé,

(*) L'*Electric Telegraph Company*.

(**) Blavier, *Nouveau traité de télégraphie électrique* (1867), préface, p. XI et XII.

croyons-nous, jusqu'à ce jour. Les orages, les aurores boréales, les bourrasques, le magnétisme terrestre, les moindres phénomènes météorologiques ont leur contre-coup dans les bureaux télégraphiques, qui sont de véritables observatoires dont la science pourrait tirer grand parti.

« M. Alphonse Foy, qui a présidé aux débuts de la télégraphie électrique en France, avait entrevu ce vaste avenir lorsqu'il demanda le recrutement d'une partie de son personnel à l'École polytechnique (*). »

Blavier assista donc aux origines du développement de la télégraphie électrique en France, il en suivit les progrès pas à pas; chargé successivement de l'inspection des lignes aériennes du Nord et de la Bretagne, puis de l'établissement de lignes électriques dans le Nord et dans l'Est, il eut son rôle dans cette période de transition, où la substitution du télégraphe électrique au télégraphe Chappe, poursuivie avec autant de persévérance que de prudence, sous l'intelligente direction de M. Foy, fut réalisée progressivement, sans secousses et sans apporter aucun trouble dans le service. Témoin des résultats obtenus, Blavier a constamment défendu M. Foy (**) contre les attaques parfois très vives (***) dont son administration fut l'objet, notamment à l'occasion de la mise en service de l'appareil à signaux Foy-Bréguet, dit *appareil français*. A l'origine, le télégraphe à cadran alphabétique avait été réservé à la correspondance des bureaux de l'État avec les bureaux de chemins de fer, qui en faisaient exclusivement usage; et, pour la correspondance entre les bureaux

(*) Blavier, *Considérations sur le service télégraphique*, Nancy, 1872, p. 46 et 47.

(**) Voyez plus loin p. 21.

(***) Voir l'abbé Moigno, *Traité de télégraphie électrique* (1852), p. 55, 392, 412.

de l'État, on n'employait que l'appareil Foy-Bréguet, dont les deux aiguilles ou indicateurs reproduisaient les signaux du télégraphe Chappe. L'abbé Moigno critique cette mesure : il estime qu'il eût été préférable de dessiner les signaux Chappe sur un cadran ordinaire, ou de s'en tenir à l'appareil anglais à aiguilles de Wheatstone. Blavier déclare ces reproches sans fondement ; il reconnait que : « l'idée de conserver les signaux aériens est bien celle qui a présidé à la construction de l'*appareil français*, et elle était bien naturelle au moment de l'établissement de la première électrique, alors que le succès était encore douteux et qu'on ne voulait pas changer le système àdministratif et les vocabulaires en vue d'un simple essai » ; mais il ajoute que le désir de ne rien changer aux anciens signaux n'est pas le seul motif qui ait fait adopter cet appareil, et « que si l'on s'était proposé pour problème de trouver le nombre de divisions qu'il convient de donner à un cadran, devant lequel tourne une aiguille, pour avoir le plus grand nombre de signaux en faisant passer le courant le moins de fois possible, et de produire les signes les plus faciles à saisir promptement, on aurait précisément dû choisir cette disposition, abstraction faite de toute idée de télégraphe aérien » (*).

L'appareil français avait sa raison d'être comme appareil de transition, alors que beaucoup de dépêches, pour arriver à destination, devaient emprunter à la fois la voie électrique et la voie aérienne ; le personnel l'accueillit avec une grande faveur, et les anciens télégraphistes ont gardé le souvenir de la

(*) *Nouveau traité de télégraphie* (1867), t. II, p. 196, § 753 ; — *Cours théorique et pratique* (1857), p. 132, § 118.

vogue dont il jouit. Néanmoins l'*appareil français* dut bientôt faire place au télégraphe écrivant de Morse. Ce changement de système fut la conséquence de la loi du 29 novembre 1850, qui étendit à la correspondance privée l'usage des fils télégraphiques. Voici comment Blavier s'exprime à cet égard :

« Depuis quelques années les circonstances sont devenues différentes. Les lignes électriques ont pris un immense développement, et les fils ont été divisés de telle sorte que la plupart des appareils fonctionnent avec un seul indicateur.

« L'étendue des lignes a nécessité l'établissement d'appareils de translation dans un grand nombre de bureaux intermédiaires, et les récepteurs français n'ont pas donné de bons résultats. Le contrôle, qui est devenu plus important à mesure que le service a pris de l'extension, se fait difficilement avec des appareils qui ne conservent aucune trace des dépêches. Enfin, les communications continuelles avec les pays étrangers ont rendu nécessaire l'adoption d'un système unique pouvant permettre les transmissions entre les différentes capitales.

« Ces diverses considérations ont déterminé l'administration française à abandonner l'appareil à signaux pour prendre l'appareil Morse. Quoi qu'il en soit, l'appareil français à signaux restera dans l'histoire de la télégraphie comme l'un des plus ingénieux et comme celui qui, au début, pouvait rendre le plus de services (*). »

L'introduction en France du télégraphe Morse date de la fin de l'année de 1853. Par un décret du 28 octobre de la même année, M. Foy, administrateur en chef, avait été admis à la retraite ; le vicomte de Vougy, ancien préfet, était nommé directeur (même décret), puis directeur général (décret du 1er juin 1854) de l'administration des lignes télégraphiques.

(*) BLAVIER, *Cours théorique et pratique d'électricité* (1857), p. 133.

Blavier, qui venait de terminer la construction de la ligne de Bourg à Genève, était appelé à la résidence de Nancy (15 février 1855). Là, il commence à s'occuper de la rédaction du *Cours théorique et pratique de télégraphie électrique*. Le moment était bien choisi. D'une part, l'Exposition universelle de 1855 avait permis de se rendre un compte exact de l'état de l'art télégraphique en France et à l'étranger. D'autre part, apparaissait à la même époque (juillet 1855) la publication d'un recueil périodique destiné à « tenir chacun au courant des perfectionnements les plus récemment établis et des idées les plus nouvellement admises (*). » L'ouvrage de Blavier devait servir en quelque sorte de point de départ aux personnes désireuses de s'instruire dans la télégraphie, les *Annales télégraphiques* devaient leur fournir les moyens d'en suivre les progrès. L'initiative de ce recueil revient à Émile Saigey, inspecteur des lignes télégraphiques, décédé en 1872, écrivain distingué et vulgarisateur très apprécié (**). La publication fut interrompue après la livraison de février 1856, par suite du départ de Saigey pour l'armée d'Orient. Mais le jalon était posé : « Accueillies dès le début avec grande faveur en France et à l'étranger,

(*) *Annales télégraphiques*, juillet 1855, introduction.

(**) Le but poursuivi par le Comité de rédaction était essentiellement pratique : « Avant tout, nous insisterons sur les questions les plus pratiques de la télégraphie. Nous étudierons spécialement les mécanismes et les moteurs employés dans les transmissions ; nous rechercherons quelles sont les meilleures conditions pour la construction des lignes ; nous suivrons le développement matériel du réseau télégraphique, etc. En nous renfermant autant que possible dans ce cadre d'indications usuelles, il nous sera difficile d'éviter quelques digressions théoriques. Nous ne pourrons étudier les effets sans remonter quelquefois aux causes ; nous ne le ferons toutefois qu'avec la réserve qui convient. De même, en étudiant l'électricité dans ses rapports avec la télégraphie, il nous arrivera de toucher à quelques autres de ses applications. » (*Ibid.*)

les *Annales télégraphiques* étaient en voie de prospérité, quand une cause inattendue, l'absence de ses principaux rédacteurs, en a suspendu la publication. Elle recommencera sans doute avant qu'il soit longtemps » (*).

Absorbé à Nancy par ses fonctions et par la préparation de son premier traité, Blavier collabora peu à la rédaction de cette série des *Annales*. On n'y retrouve que deux articles de lui : l'un (décembre 1855) est une « Étude sur l'intensité des courants et la force magnétique dans la transmission simultanée de deux dépêches en sens contraire par le même fil »; l'autre (juin 1856) concerne des « vibrations particulières aux appareils Morse ». Ces vibrations se manifestaient dans certains récepteurs Morse à relais, quand on détendait le ressort de rappel du relais. L'auteur en signale l'origine, parce qu'on était souvent tenté de l'attribuer à des causes étrangères.

Quant à la première étude, elle fait suite à un article de Saigey sur la transmission simultanée, paru en septembre 1855. Des expériences célèbres de Gintl, W. Siemens, Wartmann, Zantedeschi, Edlund, quelques personnes avaient cru pouvoir conclure que les courants émis par les deux stations circulaient à la fois dans le fil et se croisaient sans se confondre. Par des considérations élémentaires déduites des lois les plus connues de l'électricité, Saigey avait montré que l'on

(*) *Annales télégraphiques*, 1re série, réimpression de 1858, préface des éditeurs. — Les livraisons furent réunies en un volume en mars 1858 : on y retrouve le Mémoire de Lesburre (inspecteur des lignes télégraphiques, décédé en 1864 à l'âge de trente-six ans) sur « L'emploi des rayons solaires pour la transmission des signaux » ou l'application de l'héliostat à la télégraphie, et l'important travail de M. Trotin sur l' « Établissement des supports des lignes télégraphiques ».

pouvait se rendre compte des faits, sans qu'il fût nécessaire d'admettre la coexistence de deux courants contraires, et il terminait en disant : « Les expériences ont parfaitement réussi. On a donc trouvé la solution d'un problème fort intéressant. On peut dès maintenant assez légitimement espérer qu'il sera possible d'augmenter d'une façon notable le travail produit par chaque fil télégraphique. Il y a toutefois des difficultés que la pratique peut seule faire connaître... Nous ne pouvons encore, sur l'utilité pratique du nouveau procédé, émettre une opinion décisive; mais *la possibilité de la transmission simultanée de deux dépêches en sens contraire par le même fil est dès aujourd'hui un fait acquis* ».

Blavier complète cette étude élémentaire en calculant, pour les différentes circonstances de la transmission, l'intensité des courants reçus et la force magnétique développée dans les électro-aimants. Après avoir noté que, n'ayant fait aucune hypothèse spéciale sur la nature des appareils, la solution peut s'appliquer à tous les modèles de récepteurs, il conclut en ces termes : « Il nous paraît toutefois difficile de voir dans cette réalisation autre chose qu'une curieuse expérience de cabinet. Outre que la manœuvre des rhéostats exigera toujours des soins trop minutieux pour qu'un pareil système soit adopté dans la pratique, il suffit de suivre le travail d'un bureau télégraphique pour se convaincre que deux postes correspondants doivent à chaqne instant pouvoir s'interrompre dans le cours d'une transmission, soit pour faire répéter des mots mal compris, soit pour collationner les dépêches, et que dès lors une pareille disposition reste sans résultat. »

Blavier exprime cette opinion, et dans son traité de 1857 (*) où il convient cependant que « les expériences faites sur plusieurs lignes ont assez bien réussi »; et dans un article important inséré dans les *Annales télégraphiques* de 1861 (**), où il traite non seulement de la télégraphie simultanée *en sens contraire*, mais aussi de « l'envoi simultané, *dans le même sens*, de plusieurs dépêches, au moyen d'un nombre suffisant de piles et de relais », et montre que, par le procédé de *Wartmann*, « la transmission de plusieurs dépêches dans le même sens peut se combiner avec la transmission simultanée en sens opposé... qu'on pourrait ainsi arriver à transmettre par un seul fil quatre dépêches en même temps, deux allant dans un sens, et deux en sens contraire, et qu'en étendant la combinaison de Wartmann à plus de deux appareils, on aurait la solution la plus générale de la transmission simultanée »; et enfin dans son traité de 1867 (***). Et toujours la même conclusion : « Il est difficile d'y voir autre chose que la solution d'un problème intéressant et sans application possible dans la pratique » (****).

Moins prudente que celle de Saigey, cette conclusion engageait l'avenir, et l'avenir donna tort à Blavier. Ses doutes reposent sur des considérations de deux ordres : 1° la transmission simultanée en sens contraire exige que l'on établisse, dans chaque poste, un *circuit local* (on dit aujourd'hui ligne *artificielle* ou *factice*) dont l'état électrique soit à chaque instant identique à celui de la ligne télégraphique; or, ce dernier

(*) Page 343.
(**) *Annales télégraphiques*, 2e série, année 1861, p. 145 et suivantes.
(***) Blavier, *Nouveau traité de télégraphie*, t. II, p. 330 et suivantes.
(****) *Annales*, 1861, p. 165.

varie continuellement, il faudra donc un réglage incessant ; 2° la sécurité des transmissions exige que le correspondant puisse couper à tout instant ; « la ligne doit donc, en général, rester libre, et ne peut servir à la transmission d'une dépêche différente ». La première considération pouvait avoir sa raison d'être à l'époque : les fils télégraphiques étaient alors généralement mal raccordés et mal isolés ; leur résistance variait à tout instant avec l'état du ciel ; il aurait donc fallu changer continuellement la résistance des rhéostats composant le circuit local.

Cette crainte était exagérée (*) ; l'objection tombait d'ailleurs pour les lignes sous-marines dont l'état électrique est invariable ; mais dans une ligne sous-marine, même courte, intervient un élément nouveau, dont l'influence a été constatée depuis sur les fils aériens, lorsqu'on a établi des communications directes d'une grande longueur : c'est *la capacité*. Le circuit *local*, pour compenser le circuit de *ligne*, doit posséder à la fois *résistance* et *capacité ;* il doit être formé de *rhéostats* et de *condensateurs*. M. Blavier nous a affirmé à plusieurs reprises, et connaissant son excessive modestie, cette affirmation dans sa bouche ne saurait soulever un doute, que cette conséquence ne lui avait pas échappé ; que *Gounelle*, dont nous par-

(*) Dès 1862, M. Vinchent, ingénieur en chef des télégraphes belges, constatait, dans un rapport officiel, que la transmission simultanée avait donné d'excellents résultats pratiques à l'administration des télégraphes des Pays-Bas, et qu'un essai fait entre Amsterdam et Bruxelles avait parfaitement réussi. M. Hagers, directeur à Amsterdam, confirmait le fait en 1863, en ajoutant que le système était appliqué depuis *sept ans* sur un fil d'Amsterdam à Rotterdam, qu'il fonctionnait encore parfaitement, même quand la résistance du fil diminuait de moitié par l'effet des pertes et des mauvais temps, et que le succès avait été complet sur le fil d'Amsterdam à Bruxelles, d'une longueur plus que double. (*Annales*, 1863, p. 270.)

lerons bientôt, et lui avaient songé à l'application à la télégraphie sous-marine de ce procédé dont ils ne croyaient pas à l'efficacité sur les fils aériens, et que naturellement l'idée d'adjoindre des condensateurs aux rhéostats pour obtenir un circuit local possédant à la fois résistance et capacité, comme le circuit de ligne, leur était venue immédiatement à l'esprit.

Pourquoi cette idée ne fut-elle pas publiée et ne reçut-elle pas de suite? C'est que l'heure de la télégraphie double n'avait pas sonné, c'est que le besoin ne s'en faisait pas sentir : la télégraphie n'était pas comme aujourd'hui entrée dans les mœurs, les fils existants suffisaient largement à écouler les correspondances, on ne s'occupait pas d'avoir un grand rendement, on s'appliquait surtout à avoir une transmission correcte. Voilà pourquoi, et c'est la seconde des raisons qui motivent l'opinion de Blavier, on attachait tant d'importance à laisser la ligne libre afin que le correspondant put couper et demander des répétitions ou des rectifications au cours même de la transmission. Nul ne songeait alors à transmettre les dépêches par séries, même après l'introduction de l'appareil Hughes, et la transmission automatique avec composition préalable, bien que réalisée par Wheatstone dès 1858, n'avait pas encore reçu d'application.

Tous les auteurs qui ont écrit sur la télégraphie avant 1872 ont d'ailleurs partagé cette opinion : Schellen, Dub, Sabine, Kuhn, etc. Le grand mérite de M. Stearns, en 1872, a été de réinventer la télégraphie double en sens contraire (*Duplex system*) au moment même où l'accroissement du trafic allait nécéssiter la pose de nouveaux fils (*).

(*) Nous disons *réinventer*, car il paraît prouvé aujourd'hui que le *con-*

Le *Cours théorique et pratique de télégraphie électrique*, parut en 1857. Dans une introduction, l'auteur fait connaître le but qu'il poursuit.

« La télégraphie électrique constitue une véritable science même pour les employés subalternes chargés de la mettre en pratique. Le stationnaire n'est pas, en effet, uniquement chargé de transmettre et de recevoir des dépêches; il doit posséder à fond la partie technique de son service; prévoir les phénomènes naturels qui peuvent influencer la transmission; reconnaître les dérangements qui ont lieu assez fréquemment dans les postes, dans les appareils et sur les lignes; déterminer leurs causes; fournir, quand il y a lieu, aux agents chargés de la surveillance tous les renseignements nécessaires.

« Il est donc indispensable qu'il soit initié aux lois et aux propriétés de l'électricité, qu'il se rende un compte exact de la marche du courant dans les différentes circonstances de la transmission, qu'il connaisse parfaitement tous les détails de construction des appareils, des piles, etc...

« Il doit, en outre, considérer son poste comme un lieu d'observation duquel il peut suivre journellement les différents effets de l'électricité atmosphérique. Il doit être en état de les observer, de les analyser et de les enregistrer afin de faire avancer, dans la limite de ses moyens, la théorie d'une branche de la physique encore peu connue et pour laquelle il est à même de fournir de précieux renseignements.

« Il est souvent appelé à faire des observations météorologiques et à en transmettre le résultat par le télégraphe.

« Enfin, aux prises avec les difficultés pratiques résultant de ses fonctions, il peut souvent découvrir d'utiles améliorations et contribuer à l'adoption d'heureuses modifications.

« Ce but élevé est bien celui que M. le directeur général des

densateur, qui est le *seul* point saillant du célèbre brevet de Stearns (novembre 1872) avait été déjà employé par de Sauty dans des essais de télégraphie simultanée exécutés en 1855 entre Londres et Birmingham; et, d'autre part, l'efficacité d'une combinaison de rhéostats et de condensateurs, pour reproduire tous les phénomènes électriques dont une ligne télégraphique peut être le siège, avait été démontrée, dès 1858, par les expériences de Varley sur son *câble artificiel*.

lignes télégraphiques s'est proposé d'atteindre en exigeant des jeunes gens qui veulent entrer dans l'administration, des connaissances assez étendues en physique, et en autorisant la création d'annales télégraphiques qui permettent à tous les fonctionnaires de faire connaître leurs idées et leurs observations.

« Plusieurs ouvrages ont paru sur la télégraphie électrique; mais, en général, on s'est borné à des descriptions d'appareils trop sommaires et insuffisantes pour donner une idée assez étendue des différentes questions qui peuvent se présenter.

« Nous avons cherché à combler cette lacune en publiant ce livre dans lequel nous avons, à cause de son but essentiellement pratique, évité avec soin de soulever toute discussion en fait de priorité de découverte ou d'invention. »

On le voit, la préoccupation constante de Blavier est d'intéresser l'agent à son art dès son entrée dans la carrière, de lui persuader que son rôle n'est pas restreint à un métier manuel, que ce rôle a aussi un côté attrayant, à la fois technique et scientifique; de l'amorcer en quelque sorte avec la perspective des services qu'il est appelé à rendre par la connaissance approfondie de l'outillage dont il dispose et par l'observation attentive des phénomènes dont il est le témoin, soit en perfectionnant le matériel en usage, soit en inventant de nouveaux appareils et de nouveaux modes de transmission, soit en fournissant des données précieuses pour l'avancement de cette partie de la science qui constitue la physique du globe.

Aussi, avec quel soin il s'efforce d'écarter toutes les difficultés qui pourraient l'arrêter au début de son instruction professionnelle, sous quelle forme simple il rappelle les premières notions d'électricité indispensables à l'intelligence de la télégraphie électrique, élaguant avec soin les calculs et les formules algébriques qu'il relègue dans un appendice où les retrouveront

ceux qui voudront pousser plus avant leurs études. Puis, après avoir exposé avec la plus grande clarté les principes généraux de la télégraphie électrique, il entre dans la description des instruments et des principaux appareils alors en usage ; il étudie ensuite en détail les perturbations qu'éprouve la transmission sur les lignes électriques, et initie le lecteur à la recherche méthodique des dérangements. La construction des lignes et la description de divers appareils font l'objet des derniers chapitres. L'appendice renferme quelques notes intéressantes : dans l'une d'elles, relative à la vitesse de propagation de l'électricité, pour assimiler le phénomène à un autre plus facile à saisir, sans chercher à établir une théorie, Blavier compare la propagation de l'électricité dans un fil conducteur au mouvement d'un gaz dans un tuyau. On sait que l'analogie entre les deux ordres de phénomènes peut être poussée très loin. Et plus tard, quand des notions nouvelles ont permis de préciser nos connaissances électrostatiques, c'est encore en le comparant à un récipient de capacité invariable, renfermant un gaz sous pression, que l'on a pu figurer simplement et exactement l'état d'un corps renfermant une certaine quantité d'électricité à un certain potentiel. Une autre note mérite une mention spéciale, car elle a eu pour résultat de donner au nom de Blavier une véritable popularité dans le monde des électriciens et des télégraphistes ; elle est intitulée : « Formules relatives aux dérangements. » Entre autres formules, Blavier y donne celle qui permet de trouver la position d'une perte à la terre par des expériences faites uniquement à l'un des bouts de la ligne : or, cette méthode a un grand intérêt pratique au point de vue de la recher-

che d'un défaut sur une ligne sous-marine, car elle dispense le plus souvent l'électricien, qui est sur le navire chargé de la réparation, d'avoir à se transporter à l'autre extrémité de la ligne, et peut ainsi procurer une grande économie de temps et d'argent. On retrouve plus tard cette formule dans les annexes au « Rapport du comité d'enquête pour la construction des câbles sous-marins » (1861) dans une note intitulée : « Méthodes de MM. Siemens, Halske et Ce pour la détermination de la distance des défauts » (Appendice n° 13, page 463). Reproduite dans le traité élémentaire de la mesure électrique publié par Latimer Clark en 1868, sous le nom de *formule de Blavier*, elle a passé depuis dans la plupart des formulaires électriques sous cette désignation, qui est ainsi devenue usuelle parmi les électriciens de la télégraphie sous-marine, et a porté le nom de Blavier comme ceux de Thomson, Clark, Varley, etc., partout où atterrissent des câbles sous-marins, c'est-à-dire dans les deux mondes. Nul ne fut plus surpris que Blavier lui-même de cette sorte de célébrité due à un calcul aussi simple, et je n'ai pas oublié sa profonde stupéfaction quand, vers 1872, j'eus l'occasion de lui montrer dans le traité de Clark son nom accolé à cette formule et de lui apprendre que, dans mes relations avec un certain nombre d'électriciens étrangers, je n'avais jamais entendu désigner autrement la méthode en question.

L'année 1857 amena des changements dans le haut personnel de l'administration des lignes télégraphiques : un décret du 24 juin 1857 supprima la direction générale, et érigea le service en simple direction du ministère de l'intérieur. M. Alexandre, inspecteur général

au corps, fut nommé directeur. Une décision ministérielle du 30 octobre 1857 institua à Paris des cours d'instruction pour le personnel. Gounelle fut chargé du « cours théorique d'électricité »; Blavier, rappelé de Nancy, fut chargé du « cours d'application de l'électricité à la télégraphie. » Nous ne pouvons aborder cette période de la carrière de Blavier, sans entrer dans quelques détails au sujet de la vie de Gounelle. « Pendant plusieurs années, notre sort a été lié à celui de Gounelle », dit Blavier, dans les lignes émues (*) qu'il consacra à son collaborateur, décédé le 20 novembre 1863, à l'âge de quarante-deux ans.

« La mort de Gounelle n'est pas seulement une perte pour l'administration télégraphique, mais aussi pour la science où il avait su se faire un nom apprécié et estimé. Gounelle était le type du vrai savant, du savant comme on aime à le voir, modeste, réservé et loyal. Il tenait peu à produire pour faire parler de lui, mais à savoir, à étendre sans cesse le champ de ses connaissances et à rectifier les erreurs ou les fausses théories qu'il voyait mettre en avant (**). Et cependant pour quiconque a pu juger, comme nous, la haute intelligence de Gounelle, la netteté de son esprit, la profondeur et la justice de ses aperçus, la variété et l'étendue de ses connaissances, combien n'est-il pas à regretter que les circonstances, une trop grande modestie, une santé qui fut toujours délicate, l'aient empêché de mettre au jour une foule de recherches qu'il avait entreprises!... Tour à tour, et à diverses reprises, inspecteur, professeur à l'administration télégraphique, à l'École des

(*) *Annales*, 1864, « Notice sur Eugène Gounelle », par E.-E. BLAVIER, p. 92.

(**) Allusion à deux polémiques soutenues par Gounelle, l'une (*Annales*, 1860, p. 636) à l'occasion du Mémoire de MM. Breton et Beau de Rochas sur la « Théorie mécanique des câbles sous-marins », insérée dans les *Annales* de 1859 (p. 445); l'autre (*Annales*, 1863, p. 313) au sujet des « Recherches expérimentales sur la transmission des signaux télégraphiques », publiées par M. Guillemin, dans les *Annales de* 1863 (p. 113).

ponts et chaussées, membre de commissions, chargé de travaux importants et de recherches scientifiques, partout et toujours on retrouve ce même caractère modeste, ferme et indépendant, prêt à combattre l'erreur, ne reculant jamais devant le travail, alors même qu'il devait dépasser ses forces, partout se faisant aimer de ses collègues, et respecter de ses inférieurs... Il portait dans ses opinions cette indépendance de caractère qui fut un de ses traits distinctifs et qu'il montra toujours dans la conduite de sa vie... Hors de ses fonctions administratives, Gounelle vécut tout entier au sein de sa famille, auprès d'une femme aimable et distinguée, de ses enfants, dont l'éducation l'occupait sérieusement. »

Dans cette appréciation de la carrière et de la vie privée de son ami Gounelle, que de passages pourraient aujourd'hui être empruntés et répétés mot pour mot en les appliquant à Blavier.

Sorti de l'École polytechnique en 1842, Gounelle, après quelques mois passés à l'École d'application de l'artillerie à Metz, était entré le 1er août 1843 dans l'administration des lignes télégraphiques.

« Il devina que les progrès récents qu'avait faits la science de l'électricité allaient transformer le service télégraphique... On venait de faire en Angleterre et en Amérique quelques essais heureux, et bien que les esprits même les plus hardis fussent loin de prévoir le succès sur une grande échelle de la nouvelle et merveilleuse application de la physique, M. Alphonse Foy, chef de l'administration, avait résolu de tenter l'expérience sur une longue ligne, celle de Paris à Rouen. Devait-on, comme le conseillaient bien des gens, se mettre à la remorque de savants et de spéculateurs étrangers, dont les procédés étaient d'ailleurs loin d'avoir atteint toute la perfection désirable, ou bien créer, avec les ressources d'un corps intelligent et depuis longtemps organisé, une télégraphie française marchant d'elle-même dans la voie du progrès? C'est ce dernier parti, le seul digne d'une grande nation, qui fut adopté par M. Foy, en dépit des obstacles de tout genre qu' il

rencontra, et l'arrivée de Gounelle dans l'administration fut une bonne fortune, car on n'était pas familiarisé alors comme on peut l'être maintenant avec les lois et les propriétés de l'électricité. Il restait, d'ailleurs, bien des questions à résoudre pour faire passer la télégraphie électrique de l'état expérimental dans le domaine de la pratique. Gounelle fut chargé de l'établissement de la première ligne électrique française. Il convenait admirablement pour une pareille mission. Par son esprit ingénieux et inventif, il surmonta toutes les difficultés. Bien des perfectionnements importants, des instruments dont plusieurs sont encore utilisés, sont dus à notre pauvre ami Gounelle, qui ne vit jamais que l'accomplissement d'un devoir là où tant d'autres eussent cherché gloire et profit. Sans parler des témoignages administratifs, la famille de Gounelle conserve plusieurs lettres d'Arago, qui montrent combien furent appréciés les services qu'il rendit à cette époque (*). »

Lorsqu'en 1849, M. Fizeau, après avoir mesuré la vitesse de la lumière, voulut essayer de déterminer la vitesse de l'électricité, Gounelle eut l'honneur d'être son collaborateur : « les expériences de Fizeau et Gounelle sont devenues classiques et ont servi de base à toutes celles du même genre qui ont été entreprises par la suite (**) ».

(*) Blavier, Notice sur Gounelle, *Annales*, 1864, p. 93.

(**) *Ibid.*, p. 94. On sait que ces expériences furent faites sur la ligne de Paris à Rouen, en fil de cuivre de $2^{mm},5$, et sur celle de Paris à Amiens, en fil de fer de 4 millimètres. — Dans les conférences de physique faites à l'École normale par Verdet, et publiées par M. Gernez, on lit (t. I, p. 463) : « M. Fizeau opéra, en 1850, sur les courants électriques à l'aide des lignes télégraphiques récemment établies en France et, *afin de pouvoir se servir de ces lignes*, il s'adjoignit M. Gounelle, inspecteur des télégraphes ». Si l'auteur veut dire par là que la collaboration de Gounelle a été imposée à M. Fizeau comme condition de l'autorisation de se servir des fils télégraphiques, nous regardons comme un devoir de protester contre cette allégation, qui présente sous un jour peu flatteur et le rôle de Gounelle et celui de l'administration à laquelle il appartenait. A toute époque et sous tous les régimes, l'administration des télégraphes a tenu à honneur de donner son concours le plus entier aux recherches scientifiques, et elle aurait prêté ses fils à M. Fizeau seul, déjà célèbre par ses expériences sur

Tel est le jugement de Blavier sur le physicien distingué et le télégraphiste éminent qui reçut avec lui la mission de présider à l'instruction du personnel de l'administration. Le résumé de leurs leçons fit l'objet de deux opuscules publiés en 1859 sous les titres de « cours théorique » (Gounelle), et « cours pratique » (Blavier). Le « cours pratique » est un abrégé du « cours de télégraphie » de 1857 : la question de la propagation de l'électricité y est cependant un peu plus développée.

C'est dans la *seconde* série des *Annales télégraphiques*, et pendant la période de 1859 à 1861, que nous retrouvons les importants travaux dus à la collaboration de Gounelle et de Blavier.

Vers le milieu de 1858, un comité composé de fonctionnaires de l'administration des lignes télégraphiques avait repris l'œuvre interrompue de Saigey. Le but restait le même; mais le programme faisait pressentir que, dans la nouvelle série, une part plus grande serait faite aux études théoriques (*).

la vitesse de la lumière, comme elle les a prêtés quelques années après à MM. Guillemin et Burnouf, et depuis pour nombre de déterminations de longitudes, sans reculer devant la gêne qui en résulte toujours pour son service et sous la seule condition que les moments soient choisis de façon à l'entraver le moins possible. Les données expérimentales que Gounelle avait recueillies sur la transmission de l'électricité par les lignes télégraphiques, en particulier ses observations sur le phénomène des *courants de retour*, constaté dès 1847, jointes à sa connaissance approfondie du sujet, lui assignaient un vrai rôle de collaborateur et non de commissaire de surveillance.

(*) « Le but général de cette publication est de servir d'organe à tous ceux qui s'intéressent au développement de la télégraphie et des sciences qui y sont intimement liées; de donner un accès facile à toutes les théories nouvelles, à tous les systèmes étudiés, à toutes les expériences consciencieuses; de rendre possible la comparaison de ces travaux et de ces observations, de faciliter enfin les recherches de nos lecteurs et de les mettre sur la voie de perfectionnements nouveaux. Nous nous occuperons spécialement des applications diverses de l'électricité; nous n'oublierons

La première livraison contient une note de Blavier « Sur le télégraphe sous-marin transatlantique (*). » Après avoir résumé les expériences faites par Witehouse, dans l'atelier de Newal, à Greenwich, afin de s'assurer de la possibilité de correspondre à travers un câble sous-marin d'une longueur de 2.000 milles, Blavier raconte l'insuccès de la tentative de 1857; mais, plus avisé que bien d'autres, il ne laisse percer aucun découragement, et conserve sa foi dans l'entreprise : « Nous nous bornerons, pour le moment, à ce court aperçu, en nous gardant d'émettre un doute sur les chances de réussite. La grandeur du résultat est à la hauteur des efforts qui sont faits pour l'obtenir, et nous ne pouvons que faire des vœux pour qu'ils soient couronnés de succès. »

La même année (novembre-décembre 1858), il donne une étude analytique « sur les dérivations du courant le long des lignes électriques. » Dans le cas où il existe en chaque élément du conducteur une dérivation de même ordre de grandeur que cet élément, l'intensité du courant varie d'une manière continue tout le long de la ligne. C'est la loi de ces variations qu'il s'agit de déterminer. Blavier fait remarquer qu'on peut arriver au résultat par la théorie de Ohm sur la dispersion de l'électricité, et c'est ainsi que la question a été reprise plus tard dans les *Annales* de 1874 (p. 225) : il préfère suivre une marche plus élémentaire, fondée seulement sur la théorie des courants dérivés. Après avoir trouvé l'expression analytique des dérivations, il calcule suc-

toutefois point que la théorie a presque toujours servi de guide à la pratique dans la solution des problèmes importants, et nous donnerons aux études analytiques la place qu'il convient de leur accorder. » (*Annales*, juillet-août 1858.)

(*) *Ibid.*, p. 16.

cessivement la résistance d'un conducteur de longueur donné placé dans les circonstances indiquées, puis l'intensité du courant à l'origine et le long du conducteur. Les formules trouvées s'appliquent immédiatement à tout conducteur homogène, n'offrant pas de pertes accidentelles, tel qu'un câble immergé en bon état, ou une ligne aérienne suspendue à des poteaux régulièrement espacés et présentant une perte identique à chaque poteau. Elles permettent de calculer l'isolement de la ligne par unité de longueur, et Blavier insiste sur l'intérêt pratique que présente la détermination de cet isolement pour les divers appareils de suspension et les différents états de l'atmosphère : « la comparaison de ces nombres donnerait le véritable rapport du pouvoir isolant des supports, et permettrait de décider le choix qu'il convient de faire parmi les systèmes essayés jusqu'à ce jour. »

La livraison des *Annales* de novembre-décembre 1858 renferme encore un intéressant article de Gounelle, intitulé : « Résumé des travaux faits pour déterminer la vitesse de propagation de l'électricité dans les conducteurs aériens et sous-marins. » C'est une introduction à la théorie de la propagation de l'électricité, dont la publication va commencer, car l'article se termine par ces mots : « M. Blavier et moi, nous nous occupons en ce moment de rassembler les travaux faits sur cette question par divers savants étrangers : Ohm, Kirchhoff, Thomson et autres, et nous comptons les publier dans ces *Annales*. »

La « théorie de la propagation de l'électricité » par Blavier et Gounelle forme quatre articles distincts.

Dans le premier (mai-juin 1859), les auteurs exposent d'abord le sujet de leur étude :

« Les premières recherches théoriques sur la propagation de l'électricité sont dues à Ohm: elles ont conduit ce savant à la découverte des lois qui régissent les courants, lois qui ont été trouvées plus tard directement par l'expérience. Plusieurs physiciens ont suivi la voie ouverte par Ohm et ont appliqué l'analyse mathématique à divers cas particuliers de la propagation des fluides électriques. Ces travaux sont, en général, peu connus en France; comme ils conduisent à des conséquences qui ont une importance réelle pour la télégraphie électrique, nous avons pensé qu'on les verrait avec plaisir dans ces *Annales*.

« Quand on réunit les deux pôles d'une pile au moyen d'un conducteur, il se produit un mouvement électrique qui, au bout d'un temps très court, devient uniforme et constitue une sorte d'équilibre dynamique. C'est cet état d'équilibre que nous étudierons en premier lieu, et nous verrons comment la théorie conduit aux lois de l'intensité des courants.

« Dans la seconde partie, nous supposerons que le conducteur interpolaire soit une surface ou un espace conducteur, ce qui comprend, comme cas particulier, la transmission des courants à travers la terre.

« Enfin, dans la troisième partie nous tiendrons compte du temps; nous serons donc conduits à l'étude de la vitesse de transmission du courant électrique.

« La théorie de Ohm a fait l'objet d'un livre (*Die galvanische Kette*), que ce savant a publié à Berlin, en 1827; notre travail va se borner, pour le moment, à donner un résumé de ce livre. »

On remarquera que ces lignes ont été écrites en 1859, et que c'est seulement en 1860 que M. Gaugain fit paraître sa traduction française du *Traité de la Chaîne galvanique*.

Tout l'article est consacré à la propagation linéaire. Le mouvement électrique entre deux points d'un con-

ducteur résulte de la différence de *tension* de ces deux points. Mais qu'est-ce que cette tension? Suivant les auteurs, ce mot est pris comme signifiant tantôt la densité électrique, tantôt la pression, tantôt le potentiel, et de là une confusion telle qu'on a songé depuis à en proscrire l'emploi. Il est vrai que le traducteur de Ohm, M. Gaugain, déclare qu'il a appelé *tension* ce que *Ohm* nomme le plus souvent la *force électroscopique*. Ce mot *force électroscopique*, en électrostatique, peut signifier la densité ou le potentiel : la *densité*, s'il s'agit de l'action qu'un plan d'épreuve posé sur un corps électrisé en équilibre, puis transporté dans la balance de Coulomb, par exemple, exerce sur l'aiguille; le *potentiel*, s'il s'agit de l'action que ce plan d'épreuve laissé à demeure dans la balance exerce sur l'aiguille, lorsqu'il est mis en contact avec les divers points du corps par un fil long et mince. Dans le premier cas, si le corps a une forme irrégulière, la force électroscopique varie avec le point touché; dans le second cas, elle reste la même quel que soit le point touché. Mais aucun doute ne saurait subsister sur le sens que Ohm attache à l'expression *force électroscopique* si l'on se reporte au chapitre intitulé : « Considérations générales sur la propagation de l'électricité » (*), où il définit la *quantité d'électricité*, comme « la somme des tensions rapportée à la grandeur des éléments », et il ajoute : « ce n'est pas autre chose que le produit de la tension par la grandeur de l'espace sur lequel l'électricité se trouve répandue, quand la tension est partout uniformément répartie ». Ohm a simplement appliqué à la propagation de l'électricité les formules

(*) *Théorie mathématique des courants électriques*, de Ohm, traduction de Gaugain, p. 72 et 76.



données par Fourier pour la propagation de la chaleur, en remplaçant dans la théorie de Fourier le mot de *température* par celui de *tension;* mais c'est le potentiel et non la densité qui est l'analogue de la température.

Dans son introduction à l'étude « des grandeurs électriques et de leur mesure en unités absolues (*Annales* 1874) (*) », Blavier insiste sur cette erreur de Ohm; il la signale en termes dont la sévérité lui parut plus tard excessive, car il supprima ce passage quand il publia en un volume ses articles sur les « grandeurs électriques ». Il se borna alors à rappeler qu'en étendant la loi de Ohm à la propagation de l'électricité dans le plan et dans l'espace, Kirchhoff l'avait rattachée à la théorie de l'électricité statique en remplaçant les tensions « dont Ohm avait donné une définition un peu vague qui même ne répond plus à l'état actuel de nos connaissances en électricité » par les potentiels (**).

Les formules importantes, actuellement connues de tous les électriciens sous le nom de *lois de Kirchhoff*, leur application au circuit complexe dont les praticiens font si souvent usage sous le nom de « Pont de Wheatstone (***) », et enfin la formule relative à la dispersion terminent cette première partie.

Le second article (juillet-août 1859) est relatif à la propagation dans le plan. C'est une analyse des travaux

(*) *Annales*, 1874, p. 12, 13, 14.

(**) *Des grandeurs électriques*, etc., p. 143.

(***) La formule des tensions, dont l'emploi apporte une si grande simplification dans les calculs relatifs à la propagation linéaire, était à cette époque complètement passée sous silence dans l'enseignement de l'électricité. Tous les problèmes étaient traités par les lois des courants dérivés. Voir, comme exemple, le calcul du pont de Wheatstone, dans l'édition posthume (1862) du cours professé à l'École polytechnique par de Senarmont.

de Kirchhoff et Smaasen, publiés en 1845 et 1846 dans les *Annales de Poggendorff*. Après avoir donné la solution générale du problème, les auteurs examinent le cas où les électrodes sont au nombre de deux seulement, et donnent les équations des courbes d'égale tension et des courbes de flux dans une plaque illimitée, dans une plaque terminée par une courbe, enfin dans une plaque circulaire. Dans ce dernier cas, si les électrodes sont sur la circonférence, les courbes d'égale tension (équipotentielles) forment, comme dans le cas d'une plaque indéfinie, une série de circonférences ayant pour diamètre commun la droite qui joint les deux électrodes, et disposées harmoniquement par rapport aux électrodes.

Ils rappellent le procédé de Kirchhoff pour déterminer expérimentalement point par point les courbes d'égale tension, et vérifier ainsi les résultats fournis par la théorie. Ils calculent enfin la résistance d'une plaque traversée par le courant.

Les équations de la propagation dans le plan permettent de calculer la résistance de l'espace compris entre deux cylindres électrodes. Pour des cylindres concentriques à base circulaire, le calcul est très simple et conduit à une formule d'un usage continuel dans la télégraphie sous-marine. Blavier eut, quelques années après, l'occasion de chercher la formule qui exprime cette résistance dans le cas plus compliqué où les deux cylindres sont excentriques. Au cours de ses expériences sur l'identité des lois mathématiques qui régissent les phénomènes de propagation et les phénomènes de condensation, Gaugain avait opéré sur les trois formes de condensateurs absolus (plans, sphériques, cylindriques), et en particulier sur les cylindres

excentriques (*). Il remplissait d'une dissolution de sulfate de cuivre l'espace compris entre les deux cylindres électrodes, et mesurait expérimentalement la résistance du liquide en faisant varier l'excentricité. Après avoir enlevé le sulfate de cuivre, il constituait avec les deux cylindres un condensateur dont l'armature intérieure était en communication avec une source électromotrice, tandis que l'armature extérieure communiquait avec la terre. La charge du condensateur donnait la mesure du pouvoir condensant, et Gaugain constata ainsi que ce pouvoir suit la même loi que la conductibilité, c'est-à-dire que, en déplaçant les cylindres, la charge varie en raison inverse de la résistance comprise entre les cylindres. « Lorsque j'ai exécuté mes expériences, dit M. Gaugain, je ne connaissais pas la formule mathématique qui exprime la grandeur du courant transmis, en fonction des rayons des cylindres électrodes et de la distance de leurs axes. Depuis cette époque, l'un des savants rédacteurs des *Annales télégraphiques*, M. Blavier, a eu l'obligeance de rechercher et de me faire connaître cette formule, qui se déduit par un calcul assez simple de la théorie de la propagation dans un plan, établie par M. Kirchhoff..... L'on voit à l'inspection du tableau (qui met la valeur calculée du flux en regard de sa valeur observée) que l'intensité du courant transmis est telle que l'indique la théorie de Ohm, développée par M. Kirchhoff. Ce dernier physicien a constaté, par des observations directes, que les lignes d'égale tension ont réellement la forme que la théorie indique, mais je ne crois pas

(*) GAUGAIN, Recherches sur la conductibilité des corps isolants (*Annales de chimie et de physique*, février 1862; — *Annales télégraphiques*, septembre-octobre 1863).

qu'il ait soumis au contrôle de l'expérience la loi qui exprime l'intensité du courant; les résultats que j'ai obtenus offrent donc une vérification de l'hypothèse de Ohm dans des conditions nouvelles (*). »

Blavier n'a publié ce calcul de la résistance de l'espace compris entre deux cylindres qu'en 1874 (*Journal de Physique*, 1re série, t. III, p. 115 et 151). Il le compléta alors par celui de la capacité du condensateur formé par les deux cylindres, afin de vérifier, dans ce cas particulier, l'identité des lois de l'induction électrostatique et de celles de la propagation électrique, identité que l'analyse permet d'ailleurs d'établir d'une façon générale. Plus tard encore (*Annales télégraphiques*, 1881, p. 291 et 1882, p. 185), il reprend cette étude et en déduit la capacité d'un fil télégraphique suspendu au-dessus du sol, et celle d'un système de deux fils parallèles.

Dans le troisième article sur la théorie de la propagation de l'électricité (janvier-février 1860), Blavier et Gounelle traitent de la propagation dans l'espace. Ils calculent en particulier la résistance d'un espace terminé d'un côté par un plan qui passe par les deux électrodes et illimité dans tous les autres sens : « Ce dernier cas est celui qui se présente en télégraphie lorsqu'un fil conducteur parcouru par un courant est mis des deux côtés en communication avec la terre. La théorie vérifie bien cette loi trouvée par l'expérience, que la résistance de la terre est indépendante de la distance des électrodes et varie seulement avec leurs dimensions (**). » Suit l'étude de la propagation dans

(*) *Annales*, 1863, p. 437.
(**) *Annales*, 1860, p. 36.

une surface de forme quelconque, puis dans une surface de révolution lorsque les électrodes se trouvent sur l'axe (courbes de flux et d'égale tension, résistance) avec application à la sphère.

Les formules générales de la propagation font l'objet du quatrième et dernier article (mars-avril 1860).

« Nous avons jusqu'ici considéré la propagation de l'électricité dans un fil, dans une surface ou dans un espace, en supposant le courant établi d'une manière uniforme; mais lorsqu'on fait communiquer un conducteur avec les pôles d'une pile, cet état d'équilibre dynamique n'a lieu qu'au bout d'un instant, très court, il est vrai, mais souvent appréciable. Il en est de même lorsque, un conducteur étant électrisé, on le fait communiquer avec la terre; la décharge n'a pas lieu instantanément, elle dure un certain temps variable avec la longueur du fil.

« On peut déterminer la marche exacte du fluide électrique, dans ces circonstances, en se fondant encore sur l'analogie qui existe entre la propagation de la chaleur et celle de l'électricité, analogie qui conduit si bien, comme nous l'avons vu, aux lois connues de l'intensité des courants.

« Ohm ne s'est pas borné à l'étude de l'équilibre dynamique : il a aussi cherché les lois de la propagation en tenant compte du temps; mais à l'époque de la publication de son livre, en 1827, on était loin de prévoir qu'un jour l'électricité, envoyée à travers de longs fils métalliques, servirait à transmettre la pensée; aussi n'a-t-il pas donné à cette partie tous les développements qu'elle comporte. L'établissement de grandes lignes sous-marines, sur lesquelles un phénomène particulier rend la propagation plus lente que sur les lignes aériennes, a remis à l'ordre du jour cette étude qui a été reprise dans ces derniers temps par plusieurs savants (*). »

Les auteurs font allusion à la correspondance

(*) *Annales*, 1860, p. 135.



échangée en 1854 entre les professeurs Thomson et Stokes, qui parut sous le titre de « Théorie du télégraphe électrique » dans les *Proceedings* de la Société Royale de Londres de 1855, et fut reproduite l'année suivante dans le *Philosophical Magazine*.

Ainsi que Ohm l'avait fait remarquer, l'application des formules de Fourier conduit à ce résultat que le temps nécessaire pour qu'à l'arrivée l'intensité du courant atteigne une fraction déterminée de l'intensité finale est proportionnel au carré de la longueur de la ligne. « On peut en conclure, dit M. Thomson, que le retard dans la transmission des signaux est proportionnel au carré de la distance; de là les résultats discordants obtenus par les observateurs qui croient avoir trouvé une vitesse de propagation de l'électricité: la vitesse apparente, toutes choses égales d'ailleurs, doit être d'autant moindre que la longueur de fil employé est plus grande. »

Blavier et Gouvelle développent cette conclusion; mais ils ont bien soin de faire leurs réserves sur l'hypothèse qui sert de base au calcul :

« Il résulte de la théorie qu'il n'y a pas d'intervalle entre le moment où la communication avec la pile est établie à l'une des extrémités et celui où l'écoulement commence à l'autre; mais il ne faut pas perdre de vue que ces calculs ont été établis dans l'hypothèse de la continuité de la matière, et que toutes les expériences de physique tendent à démontrer que les corps sont formés par des molécules séparées par des intervalles dont les distances peuvent être assez grandes, eu égard à leurs dimensions respectives. On ne doit donc pas admettre dans toute leur rigueur, aux limites extrêmes du moins, les résultats de l'analyse mathématique.

« Il peut se faire, en effet, que la transmission de l'électricité d'une molécule à la suivante n'ait lieu que lorsque la différence des tensions a acquis une certaine valeur (fait qui pour-

rait expliquer comment certains corps conduisent bien l'électricité à haute tension et sont isolants lorsqu'il s'agit de l'électricité voltaïque); alors on peut comprendre que l'écoulement ne commence à l'extrémité du fil qu'au bout d'un intervalle de temps fini et appréciable. Il en est de même pour l'établissement définitif du courant qui, théoriquement, ne devrait avoir lieu qu'au bout d'un temps infiniment grand (*). »

M. Thomson avait aussi fait remarquer que la théorie repose sur une hypothèse analogue à celle qui sert de base à certains calculs d'hydrodynamique, lorsqu'on traite l'eau comme si elle était incompressible; le premier effet d'une perturbation se fait alors immédiatement sentir dans toute la masse. Dès lors, la *courbe d'arrivée* du courant dans l'appareil récepteur devrait dès l'origine se séparer de l'axe des temps; le tracé de la courbe théorique montre qu'au début elle s'écarte très peu de cet axe, et le courant ne devient vraiment sensible que lorsqu'il s'est écoulé un certain intervalle de temps; mais ce temps, pour un conducteur donné, est proportionnel au carré de la longueur; de même, au bout d'un certain temps, l'intensité se rapproche assez de sa valeur définitive pour qu'on puisse supposer que l'état permament est atteint.

On peut concevoir l'existence d'une vitesse de propagation si, contrairement à l'hypothèse, l'électricité met un temps appréciable à passer d'une tranche du conducteur à la tranche voisine. En employant des récepteurs de plus en plus sensibles, le point, où la courbe d'arrivée se sépare de l'axe des temps, se rapproche de l'origine, et d'après la théorie de Ohm, avec un récepteur infiniment sensible, il finirait par se confondre avec l'origine; mais si on arrivait à constater

(*) *Annales*, 1860, p. 149.

que ce point tend vers une position limite, la distance qui sépare cette position de l'origine représenterait le temps employé par l'électricité à parcourir le conducteur, et on pourrait en déduire la vitesse de propagation.

Ces considérations n'ont pas échappé à Blavier, qui les développe longuement dans une note publiée en 1865 :

« La théorie de Ohm, comme toutes les théories mathématiques, suppose une continuité qui n'existe pas dans la nature... Pour mettre en équation le problème de la propagation, il faut admettre que le passage d'électricité d'une molécule à la suivante a lieu, si faible que soit la différence de tension électrique des deux molécules, ce qui conduit à ce résultat que le fluide, quand il pénètre dans un conducteur, même très long, arrive instantanément à l'extrémité en quantité infiniment faible, et que le courant, bien qu'insensible aux instruments, commence à l'extrémité d'une ligne au moment même où il est envoyé par l'autre.

« Mais les molécules d'un corps ne sont pas en contact immédiat, et dès lors l'échange d'électricité d'une molécule à la voisine ne doit avoir lieu que lorsque la différence de tension a acquis une certaine valeur, très petite, il est vrai, mais finie.

« La conséquence de la théorie de Ohm n'est donc pas vraie dans toute sa rigueur, et il faut probablement un temps fini pour que les premières émanations électriques arrivent à l'extrémité d'un fil conducteur.

« Ce temps ne peut être déterminé par l'expérience d'une manière absolue, parce que nos moyens d'observations sont nécessairement imparfaits et qu'on ne peut constater soit la tension de l'électricité, soit l'intensité du courant, que lorsqu'elles ont atteint une certaine valeur.

« L'idée de vitesse peut être appliquée à ce premier passage d'électricité entre les molécules d'un fil conducteur, et l'on peut se demander si cette vitesse est constante, c'est-à-dire si les premières traces d'électricité parcourent le conducteur d'un mouvement uniforme, auquel cas la vitesse serait le rapport de la longueur du fil au temps qu'il faut au fluide

pour arriver à l'extrémité, ou si la vitesse diminue à mesure que l'électricité se répand dans le fil.

« Suivant nous, c'est la première hypothèse qui est la plus probable, et voici sur quelle raison nous nous fondons :

« Quand on cherche le temps qui s'écoule entre le moment de l'émission du courant à l'une des extrémités d'une ligne et celui où on l'observe à l'autre extrémité, on obtient naturellement un temps d'autant plus court que l'appareil est plus sensible, et l'on se rapproche d'autant plus de l'observation des premières traces de fluide.

« Or, si l'on compare le temps trouvé sur différentes lignes, on trouve qu'il varie, d'après une loi qui est intermédiaire entre celle de la simple longueur et celle du carré de la longueur, et qui se rapproche d'autant plus de la longueur que l'appareil employé pour l'observation exige pour fonctionner des courants moins intenses.

« C'est ainsi que M. Hughes, en expérimentant avec son appareil imprimeur, qui, par suite de la forme donnée à l'électro-aimant, est le plus sensible de tous les appareils télégraphiques, a trouvé, dans une série d'expériences sur les câbles sous-marins, que le temps nécessaire au courant pour produire la désaimantation de son électro-aimant est à peu près proportionnel à la longueur de la ligne.

« Un autre fait vient également à l'appui de cette opinion : c'est que l'augmentation de la tension de la pile n'a pas d'influence sensible sur le temps employé à produire un signal dans ces conditions d'extrême sensibilité de l'appareil.

« Il est fort possible que la vitesse de l'électricité ainsi considérée soit indépendante de la section du conducteur, comme elle semble l'être de la longueur de la ligne et de la tension de la source (*). »

(*) *Note sur la réponse de M. Guillemin aux observations de M. Gounelle*, 1865, p. 18-20. — Quoiqu'il en soit, la théorie de Ohm, complétée par Thomson, a rendu de grands services à l'industrie des télégraphes sous-marins. Alors que la possibilité de correspondre à travers l'Atlantique était encore regardée comme problématique, elle permettait à M. Thomson d'affirmer sa confiance dans le succès de l'entreprise : « Nous pouvons être certains d'avance que le télégraphe transatlantique réussira..., mais le temps nécessaire pour chaque signal sera seize fois aussi long qu'avec un fil dont la longueur serait quatre fois moindre, comme, par

La note d'où ce passage est extrait ne parut pas dans les *Annales télégraphiques;* elle fit l'objet d'une publication séparée (*). C'est la conclusion d'une polémique engagée entre Gounelle et Guillemin au sujet d'un mémoire de ce dernier inséré dans la livraison des *Annales* de mars-avril 1863, sous le titre : « Recherches expérimentales sur la transmission des signaux télégraphiques ». Nous devons dire un mot des circonstances dans lesquelles cette polémique s'est produite, nous ne le ferons qu'avec la réserve qui nous est imposée par la disparition de tous les intéressés.

Par un décret du 14 décembre 1860, le service télégraphique avait été érigé de nouveau en Direction générale, et le vicomte de Vougy rappelé à sa tête. Dans la crainte sans doute que l'attrait des questions théoriques ne détournât ses fonctionnaires de leurs occupations administratives, M. de Vougy crut devoir prendre,

exemple, le télégraphe sous-marin français entre la Sardaigne et l'Afrique. Un résultat très important de la théorie, c'est que la vitesse de transmission sera la même, si l'on augmente le diamètre du fil conducteur et celui de l'enveloppe de gutta-percha proportionnellement à la longueur totale; car la résistance du fil par unité de longueur est inverse du carré du diamètre, et la capacité électrostatique de l'unité de longueur ne change pas, quand les diamètres du fil et de l'enveloppe varient dans la même proportion. Puisque le télégraphe sous-marin français fonctionne bien, nous pouvons être certains d'un succès identique pour le télégraphe américain, en donnant aux éléments du câble des dimensions en rapport avec la distance des points à relier. »

Sans doute, en réalité, la vitesse de transmission est plus grande que ne l'indique la loi de l'inverse carré; mais quand on calcule, d'après cette loi, le rendement d'un câble projeté, en prenant pour terme de comparaison le rendement effectif d'un câble similaire de longueur moindre, on a la certitude de ne pas éprouver de mécompte.

(*) Blavier, *Note sur la réponse de M. Guillemin aux observations de M. Gounelle :* « Il m'a paru que, par cela même que les *Annales télégraphiques* étaient publiées avec l'assentiment de l'administration, il ne serait pas opportun de publier dans ce recueil une discussion qu'elle paraîtrait encourager. C'est pour cette unique raison de convenance que j'ai adopté la présente forme de publication. » (p. 8.)

en dehors du corps, les conseillers scientifiques de son administration. M. Blavier avait été appelé à la résidence de Nancy (mai 1862), et Guillemin, professeur de physique à l'École militaire de Saint-Cyr, avait été chargé de l'instruction des surnuméraires. Guillemin avait attiré sur lui l'attention par ses expériences sur la transmission de l'électricité dans les fils télégraphiques, commencées à la fin de 1859 avec la collaboration de M. Burnouf, et relatées, soit dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, soit dans les *Annales télégraphiques* (1860, p. 186 et 601 ; 1861, p. 495).

Le mémoire qu'il publia en 1863 dans le but « de condenser les faits disséminés dans ces notes, de montrer leur dépendance mutuelle, et d'indiquer les applications qu'on peut en faire en télégraphie », débutait ainsi :

« Les progrès de la télégraphie électrique sont nécessairement subordonnés à la connaissance plus ou moins approfondie de l'agent physique qui transmet les signaux. Cependant, jusqu'à ces derniers temps, tous les efforts ont été dirigés vers le perfectionnement des appareils, et l'on s'est borné, quant à la question de physique, à prendre pour guide les notions acquises à la science depuis environ trente ans, qui comprennent les lois relatives aux courants établis d'une manière stable et permanente. »

Ces lignes devaient éveiller les légitimes susceptibilités des savants qui, comme Blavier et Gounelle, s'étaient appliqués à vulgariser les études sur la théorie de la propagation de l'électricité et à préciser l'état des connaissances acquises sur ce sujet : « Nous avons la conscience, dit Blavier, de ne pas être restés aussi étrangers que le croit M. Guillemin aux progrès de la science, de nous être toujours tenus au courant des faits et principes nouveaux qui se sont produits, et de

les avoir appliqués toutes les fois qu'il y a eu lieu » (*).

M. Guillemin continuait :

« Lorsque j'entrepris ces recherches, deux opinions étaient en présence : les uns pensaient que l'électricité se propage à la manière des ondes lumineuse dans le vide ou dans un milieu homogène, les ondes marchant à la suite les unes des autres d'un mouvement uniforme. D'autres savants revenaient à une idée émise, en 1827, par G.-S. Ohm, d'après laquelle le courant est assujetti dans les fils métalliques à des lois analogues à celle que présente la chaleur lorsqu'elle se répand dans une barre... Mes expériences ont eu pour but de savoir quelle est la vraie de ces deux théories (**). »

A cela, Gounelle répond :

« Au moment où les expériences en question ont commencé, s'il existait encore un doute, c'était seulement dans l'esprit de M. Guillemin et de quelques physiciens n'ayant pas eu l'occasion d'étudier la transmission sur les lignes télégraphiques. Dès 1857, et même avant cette époque, on savait parfaitement que la propagation de l'électricité dans les fils télégraphiques ne pouvait être assimilée aux vibrations d'un fluide.

« Les expériences sur l'appareil Bain, faites en 1852, les expériences de MM. Faraday, Jenkin, Witehouse, etc., avaient mis ce fait hors de doute, et dans le cours publié en 1857 par M. Blavier, le mode de propagation de l'électricité dans les fils télégaphiques est défini tel qu'il existe. M. Guillemin n'a donc fait que reproduire des faits connus et admis longtemps avant ses expériences. J'ajouterai que la théorie complète de Ohm, commentée et augmentée des travaux de MM. Kirchhoff et Smaasen, avait été publiée dès 1859 et 1860 dans ces *Annales;* la traduction de M. Gaugain, que cite M. Guillemin, n'a paru qu'en 1860 (***). »

D'autres raisons, suivant Blavier, justifiaient, d'ailleurs, les observations de Gounelle :

« Il y avait dans ce mémoire des prétentions très exagé-

(*) Blavier, *Note sur la réponse*, etc. (1865), p. 7.
(**) *Annales*, 1863, p. 114.
(***) *Annales*, 1863, p. 314.

rées, car je n'aurai pas de peine à démontrer que la plupart des faits présentés comme nouveaux par M. Guillemin étaient connus depuis longtemps quand il a fait ses expériences. Il y avait surtout des erreurs et des contradictions qui, en raison de la position de l'auteur, chargé de l'instruction des surnuméraires de l'administration, prenaient un caractère officiel pouvant donner à penser que les idées émises étaient partagées par tous les fonctionnaires de l'administration.

« Nous avons laissé à Gounelle, celui d'entre nous qui s'était le plus occupé de la propagation de l'électricité, le soin de répondre à M. Guillemin. Il s'est surtout attaché à démontrer que le procédé d'expérimentation pèche par sa base, parce que l'instrument lui-même introduit une perturbation dans la propagation et, en outre, à cause de la méthode d'observation galvanométrique adoptée (*). »

L'instrument en question était celui que Guillemin avait imaginé, sous le nom de *périodomètre*, pour mesurer l'intensité du courant en un point du circuit, à un instant déterminé après l'établissement du contact de la pile. La critique de Gounelle parut dans la livraison des *Annales* de juillet-août 1863 : ce travail présente encore un intérêt particulier tenant à ce que l'auteur y énonce un certain nombre de résultats inédits. C'est ce que Blavier nous apprend dans sa « Note sur Gounelle » (**), où, après avoir rappelé la collaboration de Gounelle aux expériences de Fizeau, il ajoute :

« Gounelle avait, dès cette époque (1849), entrevu le vrai caractère de la propagation de l'électricité. Cette question, si importante au point de vue de la télégraphie électrique, fut toujours une de celles qui l'intéressèrent le plus. Il la connaissait mieux que personne et y consacra de longues heures d'étude. Envisageant le problème au même point de vue que M. Gaugain, il employa ses dernières années à traiter par le calcul tous les cas qui peuvent se présenter dans le phénomène de la

(*) Blavier, *Note sur la réponse*, etc., p. 7.
(**) Blavier, « Notice sur Gounelle », *Annales*, 1864, p. 94.

propagation. Il a reproduit dans ces *Annales* (juillet-août 1863) quelques-uns de ses principaux résultats, et préparait un mémoire étendu qu'il avait l'intention de soumettre à l'Académie des sciences, lorsque la mort vint interrompre ses travaux. »

Guillemin n'accepta pas les critiques de Gounelle; il s'attacha à les réfuter dans un long mémoire qui parut dans les *Annales* de septembre-octobre 1864, sous le titre : « Réponse aux observations de M. Gounelle ».

« Le numéro de juillet-août 1863 des *Annales télégraphiques* contient sur mes expériences une discussion très étendue à laquelle je me proposais de faire une prompte réponse, si je n'avais dû modifier ce projet à l'occasion de la mort prématurée de M. Gounelle, l'auteur de ces observations critiques. Tout le monde comprendra les raisons de convenance qui m'ont engagé à retarder cette réfutation, dont l'insertion dans ces *Annales* ne se serait pas fait attendre sans ce regrettable événement (*). »

Blavier intervient alors dans le débat, par sa « Note sur la réponse de M. Guillemin aux observations de M. Gounelle », datée de Nancy, le 15 décembre 1864 :

« Il m'est impossible, quelle que soit ma répugnance pour tout débat, même purement scientifique, de laisser passer sous silence l'article que M. Guillemin vient de faire paraître dans les *Annales télégraphiques*, en réponse à quelques observations que mon camarade et ami, feu Gounelle, avait cru devoir faire au sujet des expériences de ce physicien, et des conclusions qu'il avait cru devoir en tirer. Je ne puis, en effet, laisser peser sur la mémoire vénérée de Gounelle le reproche d'avoir avancé légèrement des critiques auxquelles M. Guillemin paraît vouloir donner l'apparence d'imputations malveillantes, et je partage trop complètement ses idées pour ne pas essayer de les défendre. D'ailleurs, M. Guillemin, bien qu'il ne m'ait pas nommé, m'a cependant mis directement en cause en citant

(*) *Annales*, 1864, p. 465.

plusieurs passage de quelques articles publiés par moi, et j'ai le droit de faire voir qu'il m'a fort mal interprété (*). »

Blavier s'attache spécialement à discuter les résultats des expériences de Guillemin, et à montrer que ces expériences, loin de confirmer d'une manière générale la théorie de Ohm, conduisent souvent à des résultats diamétralement opposés.

« Suivant M. Guillemin, la durée de l'état variable augmente quand il y a des pertes, tandis que c'est le contraire qui doit avoir lieu d'après la théorie de Ohm. Suivant M. Guillemin, l'état stable s'établit simultanément à tous les points du fil, ce qui est en opposition complète avec la théorie... Le seul résultat de ces expériences qui s'accorde avec la théorie de Ohm, dans de certaines limites, c'est la constatation de l'état variable...
... Mais est-ce bien sérieusement que M. Guillemin croit avoir observé le premier cet état variable sur les fils télégraphiques?... Tous ces phénomènes de charge, de décharge, de période croissante et décroissante étaient donc parfaitement connus dans l'administration française avant 1856; et nous ne comprenons pas comment M. Guillemin, qui a fait ses expériences dans les bureaux télégraphiques, pouvait les ignorer en 1859. »

Sans méconnaître aujourd'hui l'intérêt pratique des recherches de M. Guillemin, il est certain que son travail présentait de grandes lacunes, et qu'il est difficile d'en tirer des conclusions précises, l'auteur ayant toujours négligé de définir l'état électrique des fils, sur lesquels il opère, autrement que par les vagues indications suivantes : « air froid, sec, grand vent, isolement assez bon, température de... »

Dans son étude sur le « Retard des signaux électriques sur les fils aériens » (*Philosophical Magazine*, 1865), M. Jenkin, tout en rendant justice à l'ingénieux instrument imaginé par Guillemin (le périodomètre), fait res-

(*) BLAVIER, *Note sur la réponse*, etc., p. 5 et 6.

sortir les vices de ses expériences et l'impossibilité d'en déduire des résultats concordants. Car « on ne connaît pas la résistance de la pile, ni celle du récepteur ; on connaît à peine approximativement la résistance de la ligne ; l'état d'isolement n'est pas défini, et les déviations obtenues ne sont pas proportionnelles au courant. Avec de pareilles sources d'erreur, on ne peut pas avoir confiance dans les résultats ; mais M. Guillemin a indiqué une méthode qui peut donner de bons résultats, etc. »

Dans le courant de 1860, Blavier donne encore aux *Annales* (mai-juin 1860) une note assez étendue « Sur la boussole des tangentes de M. Gaugain » ; elle contient l'analyse d'un mémoire de Jacobi, publié à St-Pétersbourg en 1857.

Il se préoccupait déjà de rassembler des matériaux pour son *Nouveau traité de télégraphie électrique*, car c'est dans les *Annales* de 1861 qu'on lit son grand mémoire sur la transmission simultanée, et ses remarquables notes sur les appareils imprimeurs, que termine la première description qui ait été faite de l'appareil Hughes, description qui fut reproduite dans le *Recueil des lois et règlements de l'Administration*.

La préparation de ce traité, puis la mort de Gounelle, l'éloignement de Paris, ses occupations administratives à Nancy interrompirent ses études sur la théorie de l'électricité, qu'il se proposait de continuer par l'analyse des travaux récents de Sir W. Thomson et de l'Association britannique, travaux dont la connaissance chez nous eût peut être été avancée de dix ans, s'il avait pu donner suite à ce projet. Toutefois, en 1865, il annonce dans les *Annales* que la Commission chargée

par l'Association britannique de fixer les unités électriques a terminé la partie principale de son travail, et qu'elle a adopté une unité de résistance indépendante de toute donnée nouvelle et arbitraire, et basée uniquement sur les propriétés mécaniques de l'électricité.

« Nous nous proposons de revenir prochainement sur cet intéressant sujet, et de décrire longuement les procédés employés par la Commission et les difficultés qu'elle a eu à surmonter. Pour le moment, nous nous bornerons à faire connaître les principes qui l'ont guidée, en la félicitant d'avoir mené à bonne fin une œuvre aussi importante qu'utile » (*).

Une circonstance regrettable, la cessation de la publication des *Annales télégraphiques*, empêcha Blavier de tenir immédiatement cette promesse, dont la réalisation se trouva ainsi reculée jusqu'en 1874.

Le secrétaire du comité de rédaction était alors M. Blerzy, doué comme Saigey d'un tempérament de vulgarisateur, qui valut aux *Annales* quelques notices des plus intéressantes, notamment sur la télégraphie sous-marine. En vain M. Blerzy s'efforce-t-il de soutenir la publication contre l'indifférence et la froideur, pour ne pas dire plus, de l'administration supérieure : avec l'année 1865, les *Annales* disparaissent, et la rédaction en donne avis à ses lecteurs par quelques lignes dont le laconisme laisse deviner bien des sous-entendus (**). (*A suivre.*) J. Raynaud.

(*) *Annales*, 1865, p. 273 : « Détermination d'un nouvel étalon des résistances électriques ».

(**) « Les membres du Comité de rédaction, absorbés par des occupations multiples, se voient obligés de renoncer à cette publication. Si l'œuvre n'a pas été toujours à la hauteur de ce qu'elle devait être, ils espèrent que le lecteur indulgent voudra bien leur tenir compte des difficultés inhérentes à une telle entreprise ». (*Annales*, 1865, p. 622.)

RELATION

DES

OPÉRATIONS EFFECTUÉES EN 1880-1881

POUR LA

RÉPARATION DU CABLE MARSEILLE-ALGER

DE 1871

La première ligne sous-marine reliant directement Alger à Marseille a été posée au mois de juin 1871 : le câble(*) avait été construit par la Compagnie anglaise *India Rubber*, *Gutta percha and Telegraph Works C°*, et immergé sous la direction de Sir Samuel Canning, l'un des ingénieurs anglais les plus éminents dans ce genre de travaux, et qui notamment avait pris une part prépondérante dans l'immersion des premiers câbles transatlantiques.

(*) Ce câble est formé : 1° d'un conducteur en cuivre, composé lui-même de 7 brins de 0mm,7 de diamètre et pesant 48 kilogr. par mille marin; 2° de 3 couches de gutta-percha, séparées par de la composition Chatterton et pesant 75 kilogr. par mille (L'ensemble de ces deux parties, conducteur en cuivre servant au passage de l'électricité et enveloppe isolante en gutta-percha, constitue ce que l'on appelle l' « âme » du câble. Les enveloppes suivantes ne servent qu'à protéger l'âme contre des avaries extérieures et à lui donner la résistance nécessaire durant les opérations d'immersion et surtout de relèvement.); 3° d'un matelas d'étoupe de chanvre pesant 69 kilogr. par mille; 4° de 16 fils de fer homogène, enroulés en hélice, jointifs, de 2mm,4 de diamètre et pesant 1.075 kilogr. par mille; 5° enfin d'une trame en fils de chanvre croisés, imbibée d'une composition bitumineuse spéciale. Le poids total du câble, par mille marin, est dans l'air de 1.540 kilogr. et dans l'eau de 1.043 kilogr.

L'opération ne s'était pas effectuée néanmoins avec un plein succès : les expériences qui suivirent la pose accusèrent la présence d'un petit défaut à une trentaine de milles de Minorque, l'une des îles Baléares, sur les hauts fonds de laquelle passait le câble.

Ce défaut persista après le remplacement par la Compagnie, au mois d'octobre de la même année, d'environ 40 milles de câble.

La ligne fonctionnait néanmoins avec régularité, lorsqu'au mois de novembre 1879, une perte considérable, compromettant le travail du câble, vint à se déclarer. Une première série d'expériences fut entreprise immédiatement pour localiser la faute qui paraissait devoir se trouver par 1.000 ou 1.200 brasses (*) de profondeur d'eau.

La Compagnie *India Rubber*, *Gutta percha and Telegraph Works*, à laquelle elle s'était adressé tout d'abord, ayant exigé, en cas de succès, le paiement d'une somme considérable, sans garantir d'ailleurs la réparation du câble, et tout en laissant à sa charge tous les frais matériels de l'opération, l'administration se décida à la tenter directement à l'aide de ses propres ressources. Elle fit compléter l'outillage de la *Charente*, transport de l'État affecté à l'entretien des câbles côtiers de la France, et, au mois de novembre 1880, lorsque deux nouveaux câbles directs, posés en 1879 et 1880, relièrent Alger et Marseille, elle nous fit l'honneur de nous charger du travail.

Les difficultés de l'opération, très délicate en elle-même, étaient encore augmentées par la situation du

(*) La brasse vaut $1^m,82$ environ; le mille marin vaut 1.852 mètres.

câble placé en certains points à moins de quatre milles de distance, d'un côté du câble de Marseille à Barcelone, de l'autre du câble de Marseille à Alger immergé l'année précédente, câbles qui, à aucun prix, ne devaient être atteints par les engins qui dragueraient le fond de la mer, la nuit comme le jour.

Après un premier échec, dû tant à la mauvaise saison qu'à l'insuffisance et aux défauts d'un outillage créé à la hâte et sans la perfection de détail qu'exigent les travaux en eau profonde, un succès complet est venu couronner notre œuvre; nous sommes heureux d'avoir justifié ainsi la confiance de l'administration dont l'appui ne nous a jamais fait défaut pendant le cours de notre laborieuse campagne.

Bien que plusieurs années se soient écoulées depuis l'achèvement de ces travaux, il nous a paru intéressant d'en donner une relation succincte, en raison de l'importance exceptionnelle d'une opération dont les détails sont généralement très peu connus et présentent, cependant, croyons-nous, un réel intérêt. Nous désirions aussi mettre sous les yeux des jeunes générations la série d'accidents qui nous sont survenus et qui se reproduisent inévitablement, à des degrés divers, dans toutes les opérations analogues de longue haleine, et leur montrer comment, loin de laisser ébranler notre confiance dans le succès final, nous avons mis chaque échec à profit pour améliorer nos engins et nos procédés de travail et sommes arrivés finalement à triompher de tous les obstacles.

Notre étude sera divisée en deux parties :

La première comprend la relation des expériences faites à terre pour déterminer, aussi exactement que possible, la position du point fautif;

La deuxième donne le détail des opérations entreprises à la mer pour relever le câble au point indiqué par les expériences, en éliminer la partie fautive, et la remplacer par du câble neuf, de manière à rétablir la continuité du conducteur sous-marin.

I

ESSAIS ÉLECTRIQUES. — DÉTERMINATION DE LA POSITION DE LA FAUTE.

Les premières expériences, destinées à localiser approximativement la faute, furent faites dans les derniers jours du mois de novembre 1879. L'administration avait prescrit de ne pas envoyer dans le câble un courant d'une intensité supérieure à celle fournie par une pile de cinq éléments Leclanché, la force électromotrice même de la pile servant aux transmissions. Cette précaution avait pour but d'éviter une aggravation subite de la faute qui aurait pu mettre le câble immédiatement et complètement hors de service, avant que les engins destinés à la réparation ne fussent prêts et qu'un troisième câble qui ne devait être immergé que dans le courant de l'été suivant, eût assuré une sécurité suffisante au trafic télégraphique toujours croissant entre l'Algérie et la France ; mais elle avait l'inconvénient de rendre les résultats plus indécis, le courant naturel du câble, qui troublait les expériences, ayant une force électromotrice comparable à celle de la pile d'essais. Cette force électromotrice, mesurée dès le début des essais, était en effet d'environ $0^{volt},75$, soit 1/2 élément Leclanclé, ou le 1/10 de la force électromotrice de la pile d'essais.

Pour éliminer, dans la mesure du possible, l'effet de ce courant, je suivis la méthode de M. Fahie, consistant à neutraliser aussi bien que possible l'action de ce courant par le courant contraire d'un élément Leclanché; lorsque le câble était à peu près à l'état neutre, ce qu'indiquait un galvanomètre Clarke disposé spécialement à cet effet, on prenait rapidement une mesure de la résistance du câble isolé ou mis à la terre à l'extrémité opposée. Le diagramme ci-contre (*fig.* 1)

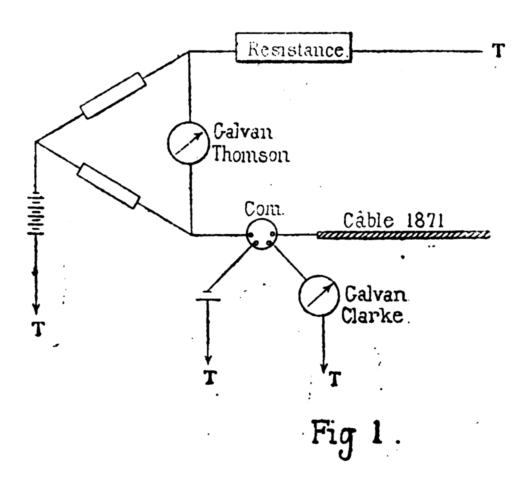


Fig 1.

indique la disposition théorique des appareils et des communications.

Ces nombres étaient ensuite combinés pour le calcul de la distance de la faute d'après la formule donnée par M. Blavier.

La moyenne des résultats obtenus pour la résistance du câble isolé à Alger a été d'environ 1.130$^{\omega}$, celle des résultats obtenus pour la résistance du câble mis à la terre à Alger de 1.100$^{\omega}$ environ; une mesure directe de la résistance totale du câble bouclé à Alger

avec le câble de 1879 donna 5.225$^{\omega}$, nombre sensiblement inférieur à sa résistance normale qui avait été de 5.505$^{\omega}$ lors de sa réception définitive le 31 décembre 1872. La longueur du câble étant de 499 milles marins environ, la faute devait se trouver à 70 milles environ de Marseille, distance comptée sur le câble.

Ce nombre, qui n'était qu'approché en raison des variations de la faute pendant les mesures et de la faible intensité de la pile d'expériences, se trouva sensiblement d'accord avec les mesures prises en bouclant le câble de 1871 avec celui de 1879. Toutefois, les essais qui avaient été faits sur le câble en même temps à Alger, rapprochaient constamment la faute un peu plus d'Alger. Nous verrons bientôt la cause de cette discordance.

Le 7 octobre 1880, immédiatement après l'immersion du troisième câble Marseille-Alger, de nouveaux essais eurent lieu, sans qu'aucune restriction me fût imposée dans les moyens à employer pour localiser définitivement la faute.

L'administration avait fait fabriquer dans l'intervalle :

A Toulon, cinq bouées de formes et de dimensions variées pouvant porter dans l'eau de 1.500 à 3.000 kilogrammes de poids utile, dix champignons (*fig.* 3, Pl. IV), sorte de cuvettes en fonte destinées à s'enfoncer dans la vase pour empêcher les bouées de chasser;

A Alger, des filins de dragues et de bouées avec leurs maillons d'assemblage, de manière à compléter l'approvisionnement du navire à 4.500 brasses de filins de drague et à 5.300 brasses de filins de bouées;

Enfin à Londres, 50 milles de câble de mer profonde,

Le port militaire de Toulon devait d'ailleurs fournir les chaînes en fer, grappins de formes et de dimensions variées, les plombs de sonde, etc.

Les expériences furent faites simultanément à Alger, où je me trouvais personnellement, et à Marseille par M. le sous-ingénieur Pelletier, qui me fut adjoint durant toute la campagne d'hiver et me seconda avec beaucoup d'intelligence et d'activité.

Les résultats obtenus furent les suivants :

1° A Alger. — Câble de 1871 bouclé à Marseille avec celui de 1880, méthode de Varley :

			Distance de la faute à partir de Marseille.
Avec	5 éléments Leclanché,	équilibre à 1.250^{ω},	d'où $x = 62$ milles
	10 —	— à 1.080 ,	d'où $x = 54$ —
	54 —	— à 980 ,	d'où $x = 50$ —

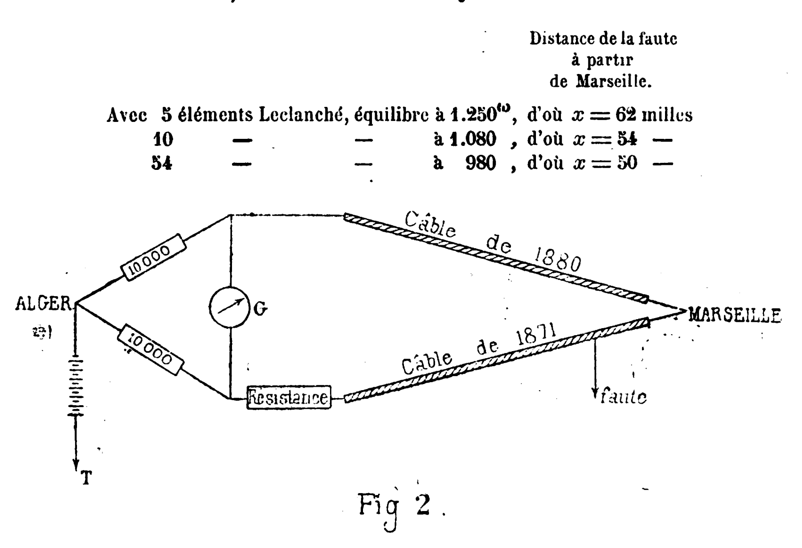


Fig 2.

Ces nombres décroissant, à mesure que l'intensité de la pile augmente, montrent l'avantage qu'il y a à opérer avec une intensité de courant convenablement choisie.

2° A Marseille. — Câble bouclé à Alger avec le câble 1880, méthode de Murray.

Première branche du pont $= 100^{\omega}$; équilibre avec :

2.003^{ω}, 1.900^{ω}	courant zinc,	d'où	$x = 48$	milles
1.703 , 1.730	— cuivre,	d'où	$x = 54$	—

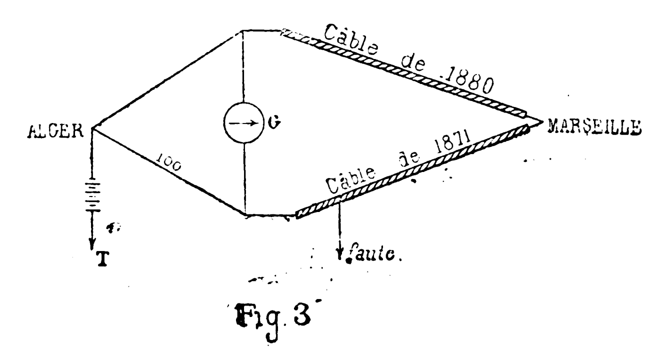


Fig. 3

3° Méthode de la chute des tensions.

700^{ω} intercalés à Marseille entre la pile et le câble de 1871 qui est isolé à Alger.

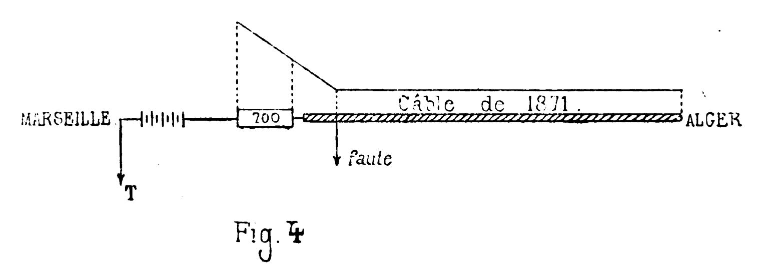


Fig. 4

Décharges obtenues à Marseille dans un microfarad :

Près de la pile	145 divisions	ϕ 1/9
A l'entrée dans le câble	70 —	ϕ 1/9
A Alger à la sortie du câble. . .	185 —	

Rapport de sensibilité des deux galvanomètres de Marseille et d'Alger $\frac{151}{205}$ d'où $x = 50$ milles.

4° Mesure de la résistance totale du cuivre des trois câbles bouclés deux à deux :

Câbles 1871 et 1880 :

Courant négatif.	10.360$^{\omega}$
— positif	10.620

Câbles 1879 et 1880 :

Courant négatif.	10.555$^{\omega}$
— positif	10.530

Câbles 1871 et 1879, après envoi sur le câble de 1871 pendant une minute d'un courant positif de 54 éléments Leclanché :

Courant négatif.	10.310$^{\omega}$
— positif	10,365

On en conclut pour la résistance des cuivres des trois câbles :

Câble de 1871.	5.137$^{\omega}$	au lieu de	5.505$^{\omega}$
— de 1879.	5.199	—	5.375
— de 1880.	5.343	—	5.220

Les résistances des cuivres des câbles de 1879 et de 1880, dont l'isolement restait très élevé, ayant été déterminées précédemment avec une grande exactitude, et les mesures prises en bouclant les câbles deux à deux ne devant pas être affectées par l'existence, dans le câble de 1871, d'une perte à la terre, on fut conduit, pour expliquer les divergences considérables observées, à admettre l'hypothèse de l'existence d'un deuxième défaut très résistant dans le câble de 1871. Les expériences faites à Alger rapprochant toujours la faute résultante de cette dernière ville, tendaient en outre à faire supposer que la faute secondaire devait être très voisine d'Alger. Le câble de 1871 avait été atteint

par les grappins dans la baie d'Alger, au cours des travaux auxquels avait donné lieu l'immersion du câble de 1879; son faible isolement ayant pu masquer une petite faute qui se serait produite à ce moment, il était permis de croire que la faute secondaire se trouvait dans ces parages. Il fut décidé toutefois que le câble d'atterrissement, compris entre la mer et la guérite d'Hussein Dey, qui n'avait qu'une centaine de mètres de longueur, serait vérifié préalablement.

Le câble ayant été coupé au bord de la mer et isolé, sa résistance d'isolement fut trouvée égale à 15.000^{ω} environ avec cinq éléments Leclanché. Nos prévisions se trouvaient ainsi réalisées; nous avions eu à faire jusqu'à ce moment, non pas uniquement à la faute principale, mais à la résultante de cette faute et de celle beaucoup plus faible qui existait dans le câble d'atterrissement. Nous montrerons plus loin que la position de cette résultante devait en effet se trouver en ce moment à 6 ou 8 milles de la faute principale.

Le câble d'atterrissement ayant été déterré, on découvrit un trou très apparent dans la gutta-percha et quelques autres fissures moins importantes; si, au lieu d'être placée dans du gravier exposé alors aux rayons d'un soleil ardent, cette section avait été immergée dans l'eau, ces fautes eûssent déterminé une perte totale à la terre. Au mois de décembre précédent, le sol se trouvant déjà détrempé par les pluies d'hiver à une assez grande profondeur, cette faute avait dû être un peu plus accentuée et par conséquent rapprocher de quelques milles vers Alger la faute résultante.

Le câble d'atterrissement ayant été remplacé par du câble neuf, une nouvelle série d'essais fut entreprise le 13 octobre pour fixer la position de la faute princi-

pale qui restait toujours dans le câble. Cette faute variant très rapidement, la méthode de M. Blavier fut écartée et les essais se firent exclusivement par les méthodes indiquées ci-après qui donnèrent des résultats très suffisamment concordants.

1° *Mesure de la résistance des trois câbles.*

Câble de 1871 bouclé avec le câble de 1880 :

Branches de comparaison 10000/10000.

Alger obtient. . .	avec 10 éléments Leclanché, courant négatif. .	10.725^{ω}
	— — — positif. .	10.610
	avec 54 éléments Leclanché, courant négatif. .	10.680
	— — — positif. .	10.670
Marseille obtient.	avec 10 éléments Leclanché, courant négatif. .	10.675
	— — — positif. .	10.720
	avec 54 éléments Leclanché, courant négatif. .	10.680
	— — — positif. .	10.670

Câble de 1879 bouclé avec le câble de 1880 :

Alger obtient. . .	avec 54 éléments Leclanché, courant négatif. .	10.622^{ω}
	— — — positif. .	10.596

Câble de 1871 bouclé avec le câble de 1879 :

Alger obtient. . .	avec 54 éléments Leclanché, courant négatif. .	10.828^{ω}
	— — — positif. .	10.813

On tire de là pour la résistance des cuivres des trois câbles :

Câble de 1871.	5.441^{ω}
— de 1879.	5.378
— de 1880.	5.231

Les mesures obtenues directement lors de l'immersion de ces trois câbles avaient été respectivement de :

Câble de 1871.	5.505^{ω}
— de 1879.	5.375
— de 1880.	5.220

2° *Méthode de Murray.*

Les câbles de 1871 et de 1880 sont bouclés à Marseille. Alger obtient l'équilibre par la méthode de

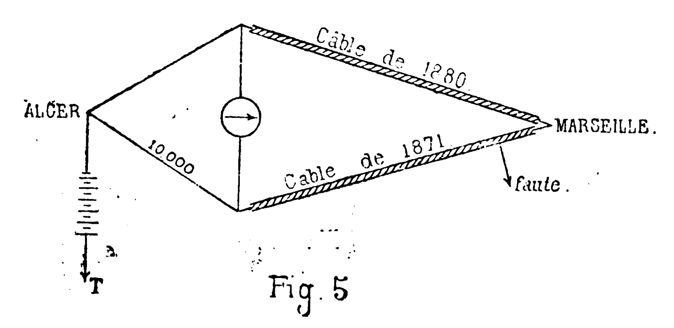


Fig. 5

Murray, en débouchant dans l'une des branches de comparaison du pont 10.000$^{\omega}$, avec :

5 éléments Leclanché.	11.830$^{\omega}$
10 —	11.680
54 —	11.687

On en conclut pour la distance, comptée sur le câble, de la faute à Marseille :

50^{milles},6, 47 milles, 47 milles.

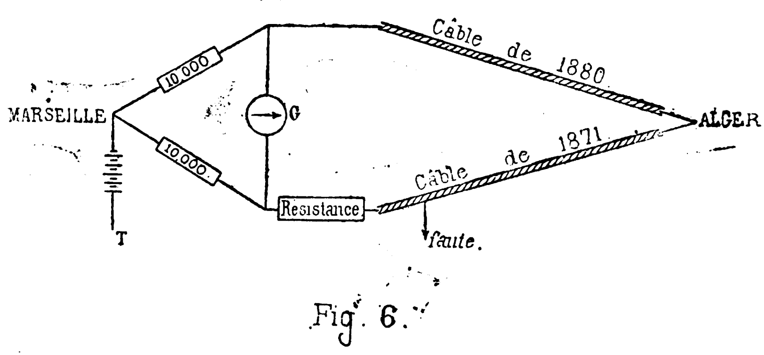


Fig. 6.

3° *Méthode de Varley.*

Les câbles de 1871 et 1880 sont bouclés à Alger.

Méthode de Varley à Marseille. On obtient l'équilibre :

Avec 10 éléments Leclanché, courant négatif. . 9.670$^{\omega}$
— — — positif. . 9.643

d'où $x = 46^{mil},6$.

Avec 50 éléments Leclanché, courant négatif. . 9.634$^{\omega}$
— — — positif. . 9.590
— — — négatif. . 9.644
— — — positif. . 9.598

d'où $x = 48^{milles},4$.

Même expérience à Alger avec les câbles bouclés à Marseille. On obtient l'équilibre :

Avec 54 éléments Leclanché. . . . . 844$^{\omega}$

d'où $x = 48^{milles},3$.

4° Alger et Marseille mesurent successivement et aussi rapidement que possible la résistance du câble de 1871 isolé à l'extrémité opposée. On obtient à Alger 5.130$^{\omega}$, à Marseille plus de 700 et moins de 800$^{\omega}$. Adoptant comme moyenne 750$^{\omega}$, on a :

$$x = 48^{milles},6.$$

On en conclut pour la résistance de la faute elle-même 220$^{\omega}$.

5° *Méthode de la chute des tensions.*

Les câbles de 1871 et de 1880 sont bouclés à Marseille.

Première expérience, à Alger, avec le câble de 1871 isolé, 10 éléments Leclanché, une résistance de 1000$^{\omega}$ intercalée entre la pile et le câble de 1880.

On obtient pour la décharge dans un condensateur de 1 microfarad :

En avant de la résistance. . . .	322 divisions	ϑ 1/9
Après la résistance.	278 —	ϑ 1/9
A l'extrémité du câble isolé. . .	284 —	

d'où $x = 40$ milles.

En raison de l'éloignement de la faute du lieu de l'expérience, la chute du potentiel à travers une résis-

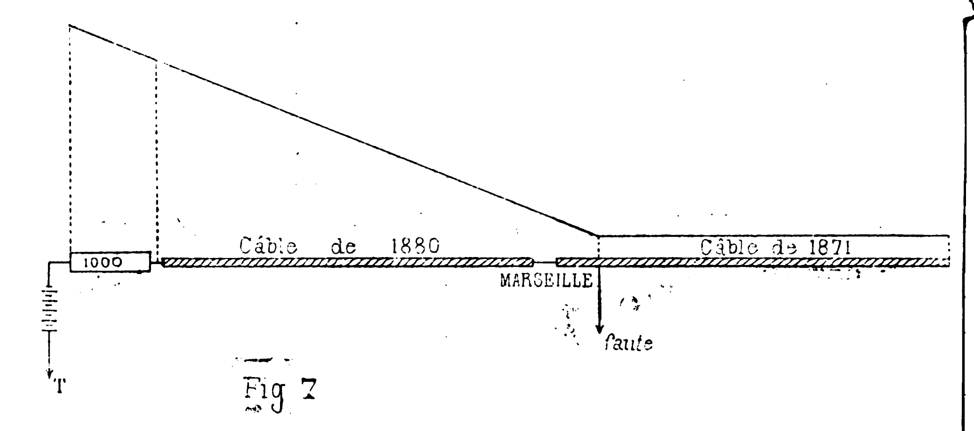


Fig 7

tance de 1000$^{\omega}$ est faible, et une très légère erreur d'observation doit conduire à une erreur sensible dans la position de la faute. Le nombre obtenu dans ces conditions est donc sujet à caution.

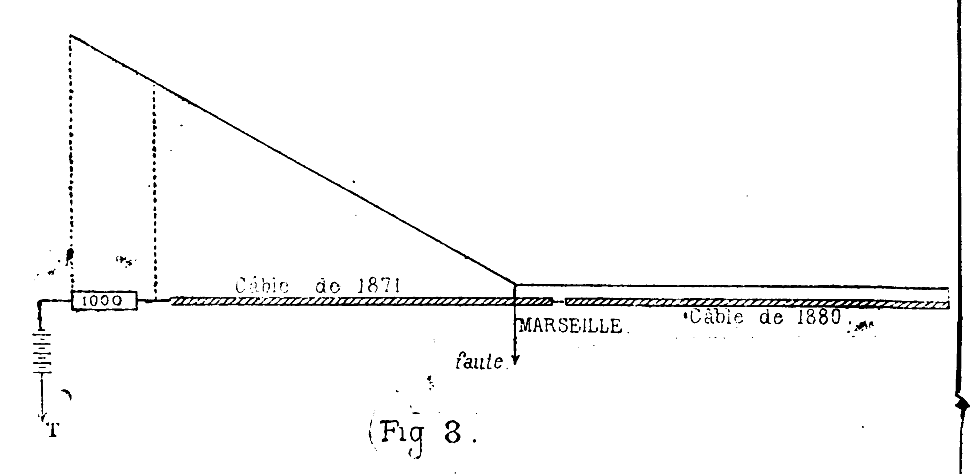


Fig 8.

Deuxième expérience. L'extrémité libre du câble de

1880 est isolée. 108 éléments Leclanché. Décharges dans le condensateur

En avant de la résistance . .	345	divisions	$\$$ 1/99
Après la résistance.	290	—	$\$$ 1/99
A l'extrémité du câble. . . .	165	—	$\$$ 2.200^{ω}

soit 749 divisions sans shunt;

d'où $x = 59$ milles.

Même observation sensiblement que ci-dessus.

Troisième expérience. Les deux câbles sont bouclés

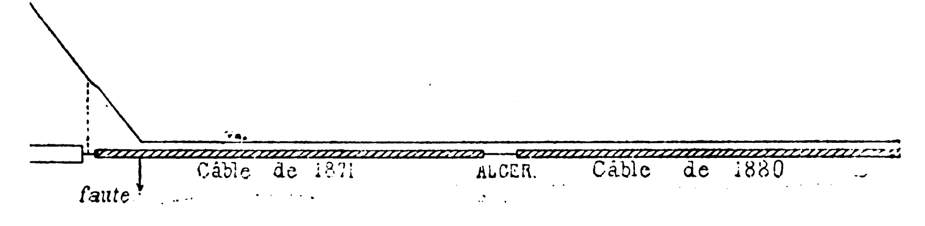


Fig. 9

à Alger et le câble de 1880 isolé:

Avec 10 éléments Leclanché.	$x = 47$	milles
50 —	$x = 49$	—

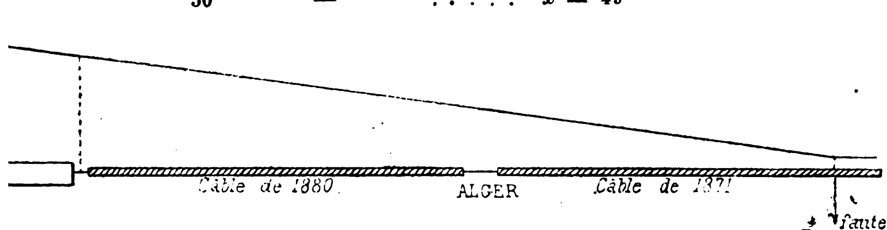


Fig. 10.

Quatrième expérience. Les deux câbles sont bouclés

à Alger et le câble de 1871 est isolé:

Avec 10 éléments Leclanché. . . . . $x = 67$ milles
50 — . . . . . $x = 71$ —

Écartant les première, deuxième et quatrième expériences de cette série d'essais qui ne présentent pas un caractère suffisant de certitude, on a pour la moyenne générale des neuf autres séries d'essais :

$$x = 48 \text{ milles.}$$

La position et la grandeur de la faute étant déterminées, il est facile de calculer la position approximative du défaut résultant que l'on observait avant la réparation du câble d'atterrissement à Alger.

En désignant par y la distance en milles de la résultante à la faute principale, on a :

$$y \frac{1}{220} = (451 - y) \frac{1}{15.000};$$

d'où $y = 6^{\text{milles}},5.$

Ce nombre, qui donne une approximation suffisante

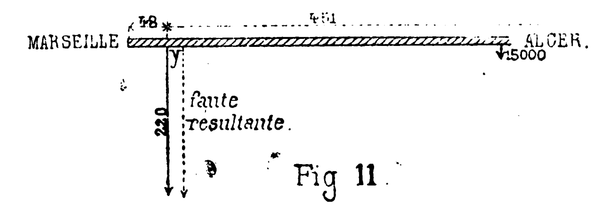


Fig 11.

de l'influence de la faute secondaire sur la position de la faute principale, n'est applicable qu'à l'époque où il a été obtenu et ne pourrait, pour les raisons que nous avons indiquées précédemment, être combiné avec les résultats des essais du mois de décembre 1879.

D'après le mou du câble de 1871 (différence entre la quantité de câble dépensée par heure pendant l'immer-

sion et le chemin parcouru par le navire pendant le même temps) et le tracé de la ligne, la faute devait se trouver entre les deux parallèles 42° 39′ et 42° 40′ et pouvait, par suite, être marquée sur les cartes (Pl. II).

II

OPÉRATIONS A LA MER.

Au cours du voyage que fit la *Charente* pour retourner d'Alger en France après l'immersion du câble de 1880, des essais de déroulement de câble eurent lieu, suivant les instructions qui m'avaient été données, afin de vérifier le fonctionnement de la machinerie de pose par des profondeurs comparables à celles que l'on rencontrerait sur le tracé du câble de 1871. Ces expériences eurent lieu le 16 octobre 1880, au large des îles d'Hyères, par 1.340 brasses de profondeur.

Le câble qui fut immergé à ce moment était un vieux câble dépourvu de son enveloppe goudronnée, mal lové dans une petite cuve qui n'était pas convenablement agencée pour un déroulement rapide. Aussi, divers accidents se produisirent entre la cuve même et l'entrée du câble dans la machinerie ; toutefois, le câble destiné à la réparation, étant neuf et lové dans une grande cuve mieux conditionnée, on pouvait espérer échapper à ces causes d'avaries en travail régulier.

La machinerie du pont, proprement dite, donna lieu à d'autres observations plus importantes. En avant du grand tambour sur l'axe duquel sont montés les freins destinés à modérer le déroulement, se trouvent des machines dites *holding back*, composées de poulies à gorge d'assez grand diamètre et surmontées de poulies

jockeys qui exercent sur le câble placé dans la gorge des poulies, sous les jockeys, une pression variable à l'aide de contrepoids. Les *holding back* sont destinées à produire en avant du tambour une retenue sur le câble qui sort lâche de la cuve, de manière à ce qu'il soit toujours tendu sur le tambour. Or, les *holding back*, à bord de la *Charente*, étant en fonte et assez massives, formaient volants lorsque le déroulement atteignait une certaine vitesse; cette vitesse venant à diminuer sous l'action des freins, les *holding back* produisaient l'effet inverse de celui qu'on en attendait et accéléraient le déroulement du câble qui arrivait ainsi sans tension sur le tambour. Il en résultait que le premier tour du câble chevauchait sur les suivants et pouvait même décapeler du tambour, ce qui amenait infailliblement une coque et la rupture du câble.

Il eut été nécessaire de démonter complètement les *holding back* et de les remplacer par de simples rouleaux destinés à guider le câble et des pièces en fonte en forme d'arcs de cercle entre lesquels on aurait fait serpenter le câble, de manière à obtenir par une déformation de celui-ci la retenue désirée.

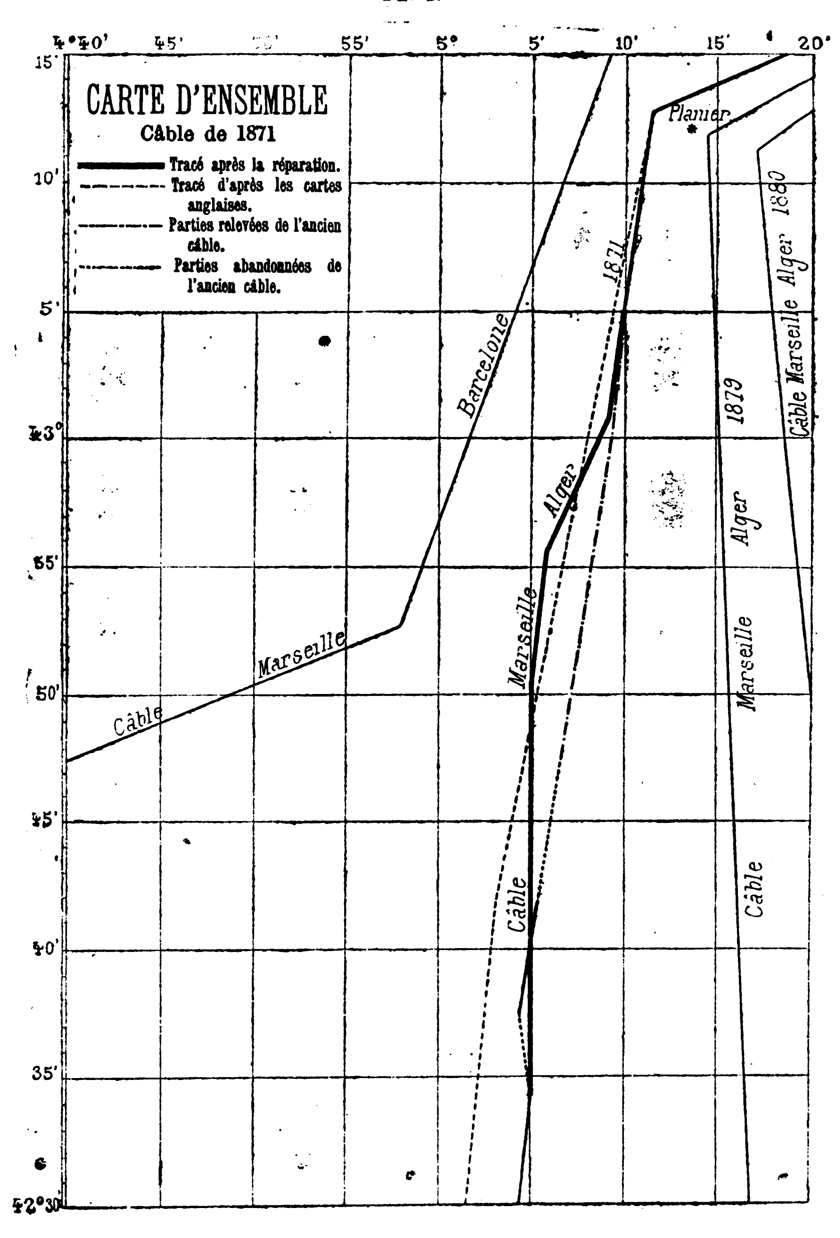
Quelques autres observations moins importantes furent encore signalées, mais aucune d'elles ne put être exécutée, l'administration ayant décidé de faire commencer les travaux de réparation du câble de 1871, dès que tout l'outillage serait réuni et embarqué. On entrait cependant déjà dans la mauvaise saison; bien que l'on pût trouver des embellies sur la Méditerranée, même en plein hiver, des travaux qui exigent nécessairement un temps à peu près calme, devaient, selon toute probabilité, devenir plus longs, plus coûteux et plus difficiles que s'ils étaient entrepris dans la belle

saison. Les événements ont justifié ces prévisions ; on ne tardera pas, cependant, à voir qu'il n'y avait aucune témérité à les tenter même dans ces conditions défavorables, et il est permis de croire qu'avec des engins mieux appropriés à l'usage auquel ils étaient destinés, un succès complet eût pu couronner nos opérations dès leur début.

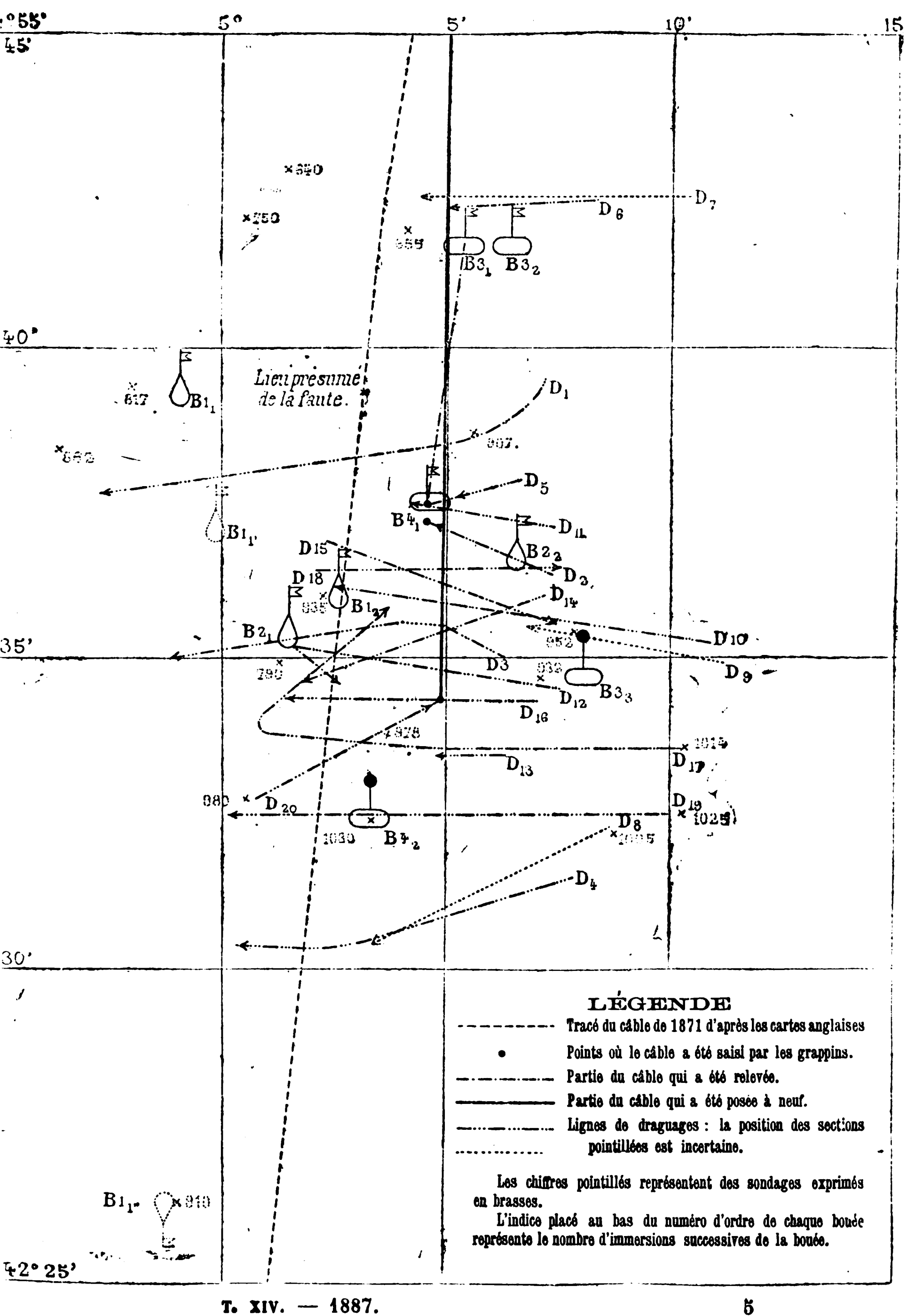
L'Administration m'ayant laissé toute liberté d'action quant au choix du plan de campagne à adopter, je résolus de me placer, de suite, directement au-dessus de la faute, d'y draguer le câble et, lorsqu'il serait amené à bord, de le relever du côté fautif, jusqu'à la faute elle-même ; d'immerger ensuite la longueur du câble neuf nécessaire pour rétablir la continuité du conducteur, les deux bouts de cette section étant successivement épissés sur les extrémités des deux tronçons restés à la mer après le relèvement de la partie fautive. Pour tous les détails, je ne pouvais que me réserver d'agir suivant les circonstances.

La *Charente*, commandée par M. le lieutenant de vaisseau Dufour, fut retenue à Toulon par la réparation d'une avarie de sa machine jusqu'au 23 novembre et, par suite de mauvais temps, ne commença ses opérations à la mer que le surlendemain. Elle parcourut environ 34 milles à partir du phare de Planier en suivant le tracé du câble d'après les cartes (Pl. I et II); une bouée de position fut mouillée immédiatement après son arrivée à l'endroit présumé de la faute. La sonde (*) accusa

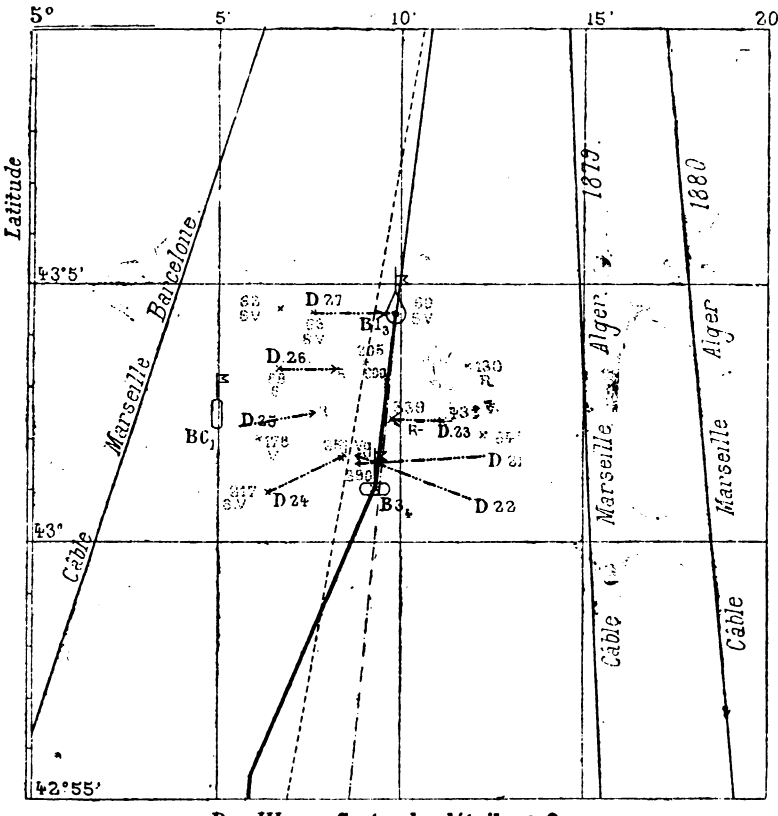
(*) Les plombs de sonde (Pl. V, *fig.* 1) sont formés d'une masse de plomb de forme ovoïde à la partie inférieure de laquelle est fixé un petit tube en fer percé de trous; une bague également en fer se visse sur le bout du tube et reçoit à frottement dur une pièce de caoutchouc, de forme conique, fendue suivant quatre génératrices, la pointe du cône étant dirigée vers l'intérieur du tube. Cette pièce en caoutchouc permet l'introduction



CARTE D'ENSEMBLE
Câble de 1871
Tracé après la réparation.
Tracé d'après les cartes anglaises.
Parties relevées de l'ancien câble.
Parties abandonnées de l'ancien câble.
4°40'
45'
55'
5°
5'
10'
15'
20'
15'
10'
5'
43°
55'
50'
45'
40'
35'
42°30'
Planier
Barcelone
Câble Marseille
1871
Alger
Marseille
Câble
1879
Câble Marseille Alger 1880


5°
5'
10'
15
45'
40°
35'
30'
42° 25'
Lieu présumé de la faute.
D7
D6
B31
B32
D1
D5
D11
B41
B22
D15
D3
D18
D14
B12
B21
D10
D3
D9
D12
B33
D16
D17
D13
D20
D19
D8
B42
D4
B11
B11'
LÉGENDE
Tracé du câble de 1871 d'après les cartes anglaises
Points où le câble a été saisi par les grappins.
Partie du câble qui a été relevée.
Partie du câble qui a été posée à neuf.
Lignes de draguages : la position des sections pointillées est incertaine.
Les chiffres pointillés représentent des sondages exprimés en brasses.
L'indice placé au bas du numéro d'ordre de chaque bouée représente le nombre d'immersions successives de la bouée.

en ce point 817 brasses de profondeur et le fond de la mer était formé d'une vase jaune assez tendre parse-



Pl. III. — Carte de détail n° 2.
(Voir la légende de la planche II.)

dans le tube de l'échantillon du fond de la mer et suffit à le retenir pendant l'ascension de la sonde. Il est essentiel de relier le plomb au fil de piano par un bout de chaînette ou d'une cordelette assez solide de 3 ou 4 brasses de longueur. La machine à sonder ne s'arrête pas, en effet, instantanément lorsque le plomb touche le fond de la mer. Ce fil de piano, ayant une très grande tendance à former des boucles, s'enroulerait sur lui-même s'il arrivait sans tension sur le sol; il en résulterait, à la montée du poids, une coque qui se casserait infailliblement. On sonde quelquefois à plomb perdu : dans ces conditions, le plomb se détache de la ligne de sonde dès qu'il atteint le fond de la mer; le fil de piano ne rapporte alors que le tube de

mée de coquilles brisées microscopiques. Quelques autres sondages, faits avec l'appareil à fil de piano de

fer avec l'échantillon de la nature du fond. La *fig.* 2, Pl. V, montre l'une des dispositions qui a été employée à cet effet à bord de la *Dacia :* le poids a la forme d'un boulet en fonte et porte latéralement deux crochets dans lesquels s'engagent deux brins de fil reliés à la ligne de sonde. Le tube en fer est fermé à la partie inférieure par une soupape s'ouvrant de bas en haut et à la partie supérieure par un couvercle sollicité vers l'intérieur par un léger ressort. Le tube traverse le boulet de part en part sans frottement et est rattaché directement à la ligne de sonde; un petit appendice placé latéralement maintient le tube dans sa position pendant la descente. A l'arrivée de l'appareil au fond de la mer, les deux brins de fil qui soutiennent le boulet quittent naturellement les crochets et le tube se charge de vase qui y reste emprisonné pendant l'ascension de ce tube. La résistance des deux brins latéraux de fils est d'ailleurs telle qu'ils casseraient lorsque l'on remonterait l'appareil, si accidentellement les fils ne s'étaient pas détachés des crochets.

A bord du *Faraday*, la ligne de sonde se termine par un crochet fermé par un ressort s'ouvrant de l'intérieur vers l'extérieur. Un poids en fonte

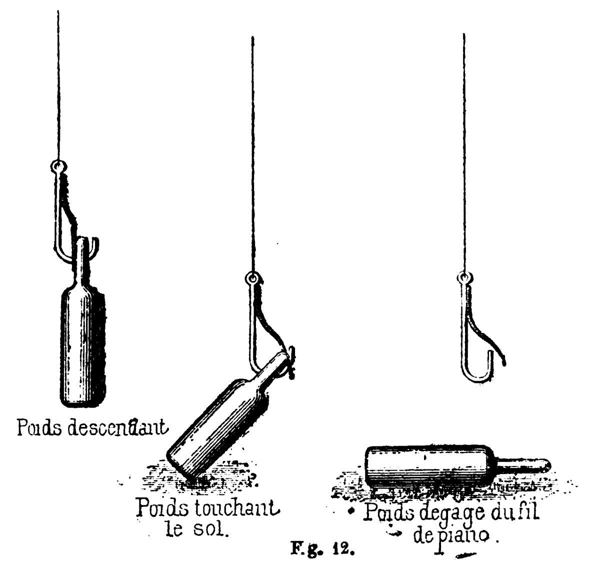
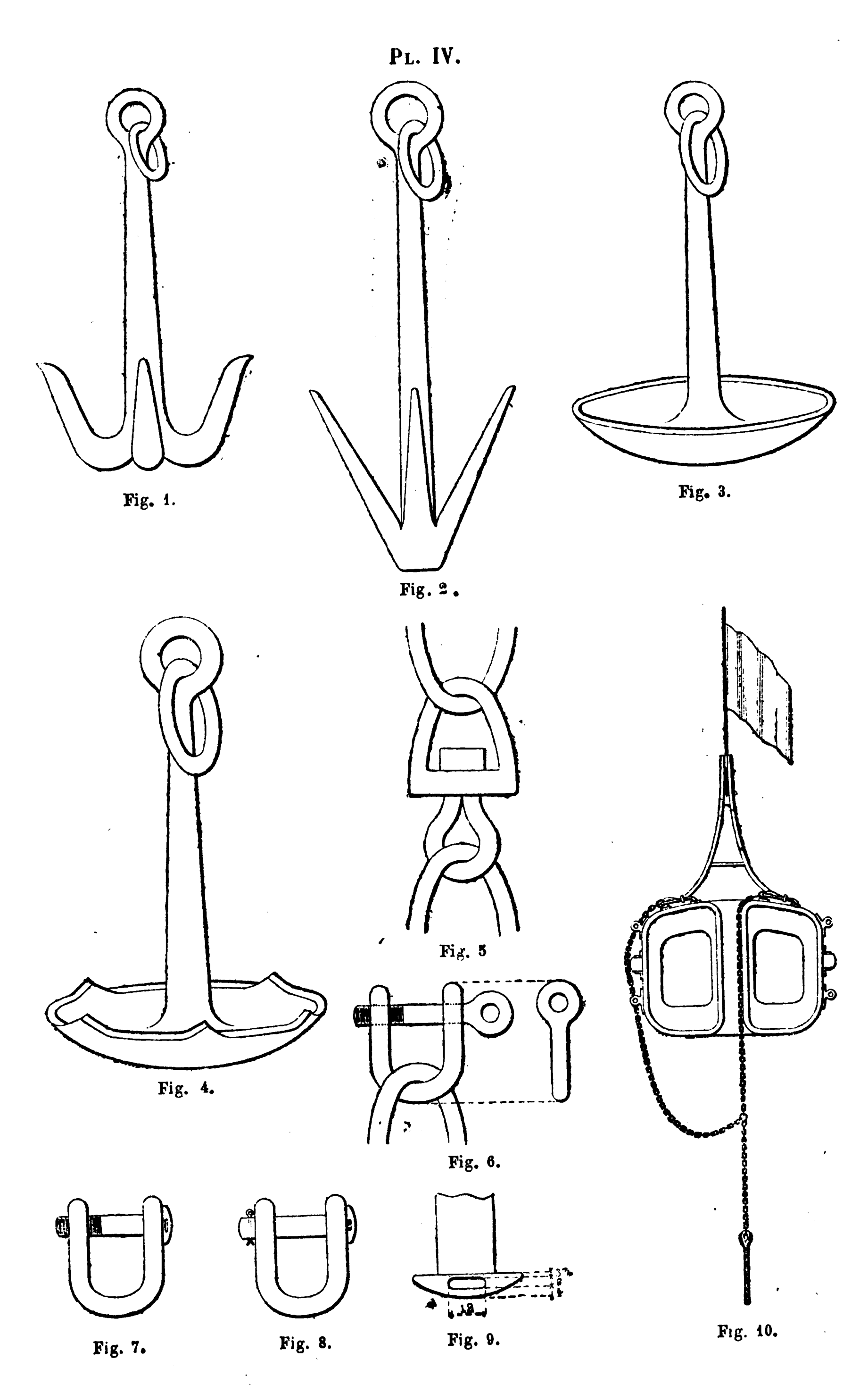


Fig. 12.

(*fig.* 12) est suspendu dans ce crochet par un anneau que soulève le ressort au moment où le poids touche le fond : celui-ci se trouve ainsi dégagé. Les sondages sont très rapides par ce procédé, mais ne rapportent pas d'échantillon de la nature du fond.


Pl. IV.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.

PL. V.

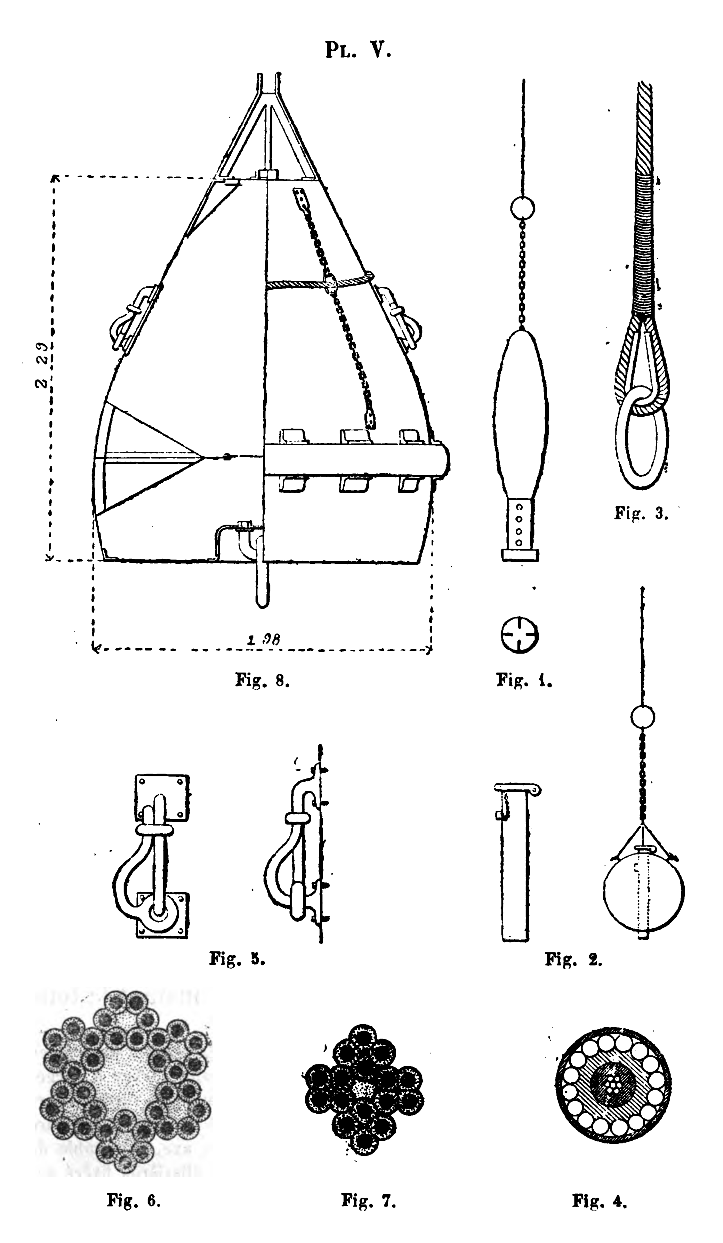


Fig. 8. Fig. 1. Fig. 3. Fig. 5. Fig. 2. Fig. 6. Fig. 7. Fig. 4.

sir W. Thomson furent pris dans les environs : les fonds augmentaient, en général, assez doucement en descendant vers le sud, plus rapidement vers l'est. La position de la bouée (marquée n° 1, sur la carte de détail n° 1) fut relevée exactement le lendemain à midi par M. Roux, officier en second, qui apporta aux nombreuses observations astronomiques qu'il eut à faire pendant tout le cours de la campagne, un soin et une précision remarquables. La bouée était parfaitement placée en latitude; elle se trouvait à 3 milles environ dans l'ouest du gisement du câble, tel qu'il était indiqué sur la carte, des courants venant de l'est ayant drossé le navire la veille pendant sa route et pendant l'opération d'immersion de la bouée.

Le navire perdit de vue pendant la nuit la bouée sur laquelle un fanal avait été installé et dut la chercher toute la matinée du lendemain au milieu d'une brume épaisse.

Le premier dragage ne put commencer que vers quatre heures du soir. Cette opération consiste à descendre dans le fond de la mer un grappin (Pl. IV, *fig.* 1), forte tige en fer terminée par trois ou quatre pattes recourbées et pointues à leur extrémité : ces pattes s'enfoncent par leur poids dans le fond plus ou moins vaseux de la mer. Le grappin est rattaché au navire par des filins de drague (Pl. V, *fig.* 6), sorte de corde composée partie de chanvre, partie de fil d'acier qui passe sur un dynamomètre (*), lequel donne à chaque instant la ten-

(*) Le dynamomètre dont on se sert pour mesurer la tension des câbles ou des dragues se compose (Pl. VI, *fig.* 1) d'une poulie jockey à gorge, mobile autour d'un axe horizontal; cet axe est fixé à une tige verticale terminée par un piston qui peut se déplacer dans un corps de pompe. En outre du mouvement de rotation de la poulie autour de son axe, l'ensemble de l'appareil peut se déplacer dans un plan vertical : des glissières fixées sur

PL. VI.

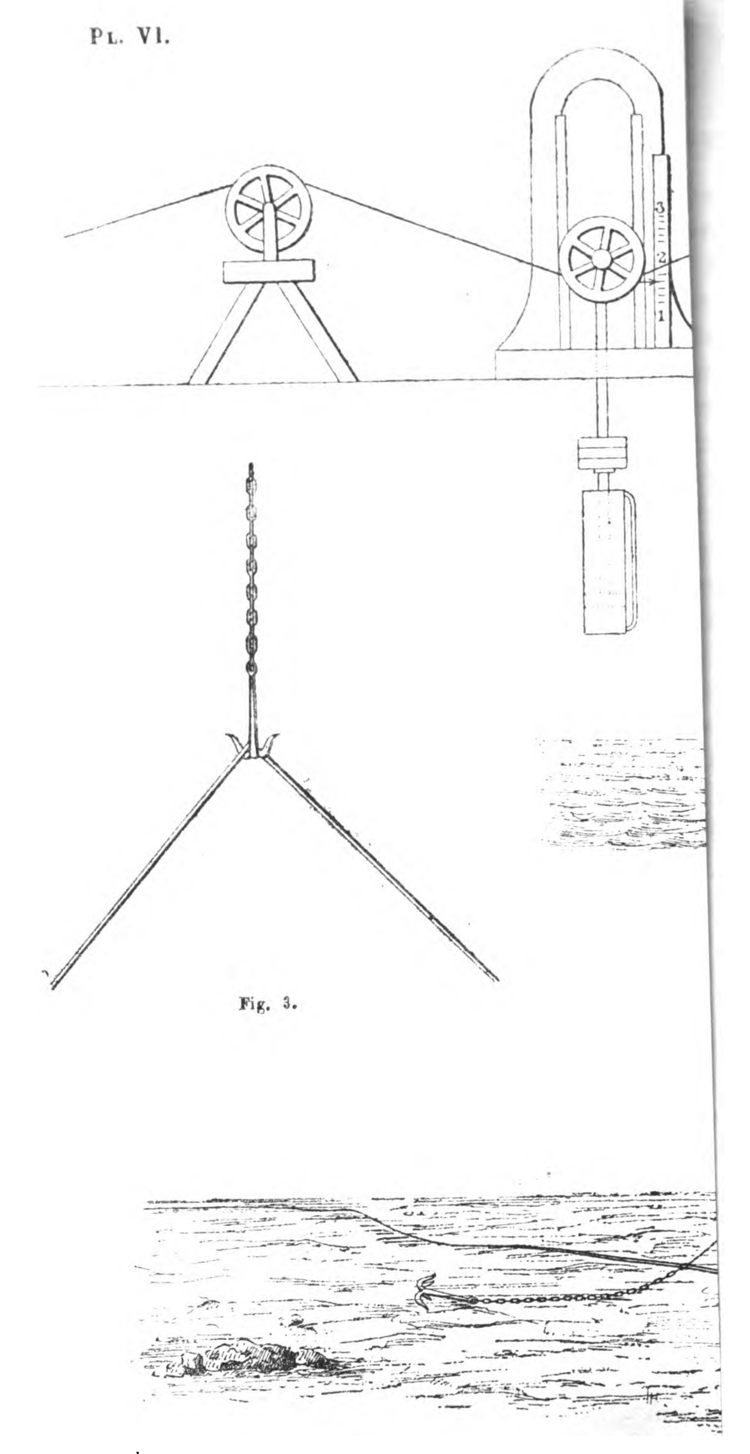


Fig. 3.

Fig. 2.

sion de la drague. Le navire courant à peu près normalement au tracé du câble (Pl. VI, *fig.* 2); le grappin doit le saisir et l'entraîner avec lui jusqu'au moment où sa présence est révélée par une augmentation sensible de la tension observée sur le dynamomètre. Il convient d'ajouter que bien des phénomènes viennent compliquer cette opération en apparence très simple, et qu'il est arrivé à des navires anglais, dirigés par des ingénieurs très expérimentés, de draguer pendant dix-huit mois consécutifs avant d'arriver à saisir le câble. Tout le monde connaît, d'ailleurs, les péripéties auxquelles donna lieu, en 1865 et 1866, le dragage, sur des fonds de 1.500 à 1.800 brasses, du câble transatlantique, par le *Great-Eastern*, secondé par deux autres grands navires.

On mouilla un grappin suivi de deux maillons de chaînes destinés à traîner sur le fond de la mer, et de 1000 brasses de filin de drague, à 3 milles environ dans l'est du tracé présumé du câble (Pl. II); le navire marcha à l'O. 1/4 S.-O. avec une vitesse de 3 nœuds. La brise ayant fraîchi du S.-E vers sept heures et ne

le bâti maintiennent l'appareil dans ce plan. La tige peut être chargée de rondelles en fonte de poids connu que l'on peut enlever ou remettre à volonté. De chaque côté de l'appareil, à des distances et à des hauteurs égales et dans le plan de la poulie, se trouvent deux autres poulies à gorge, mobiles également autour de deux axes horizontaux parallèles au premier; les coussinets de ces deux derniers axes sont fixes. Le câble ou la drague passe sur ces deux poulies et sous la poulie jockey qui s'élève plus ou moins, suivant que la drague ou le câble est plus ou moins tendu. Une aiguille fixé à l'ossature de la poulie jockey et mobile le long d'une règle graduée indique à chaque instant la tension. La graduation de l'appareil se fait expérimentalement à l'avance en chargeant l'extrémité d'une corde dont l'autre extrémité est fixée, de poids connus. Chaque graduation se rapporte nécessairement à une même charge de l'équipage mobile. Le corps de pompe est rempli d'huile qui peut passer de l'une des faces du piston à l'autre et qui est destinée à amortir les chocs de l'appareil, lorsque la tension retombe brusquement.

permettant pas au navire de gouverner facilement à cette allure, la *Charente* resta mouillée sur la drague pendant la nuit et reprit l'opération le lendemain matin. A onze heures, nous trouvant à 4 milles dans l'ouest du tracé du câble, que nous avions ainsi sûrement traversé, la drague fut relevée : le grappin rapporta un peu d'argile jaune compacte. La tension du dynamomètre avait varié de 2.500 à 3.500 kilogrammes. Par suite d'une avarie survenue à la drosse du gouvernail du navire, le dragage n° 2 ne put être commencé qu'à deux heures du soir. La *Charente* se placa à l'E.-S.-E. de la bouée, à 7 milles de distance environ (Pl. II), et, à quatre heures trente, se dirigea droit sur la bouée. A huit heures quarante, la tension du dynamomètre s'éleva à 3.800 kilogrammes : le navire stoppé évita sous l'action d'une petite brise et des courants. On commença le relèvement de la drague avec précaution; la tension du dynamomètre se maintenant entre 4.200 et 4.400 kilogrammes, même lorsque le grappin fut soulagé du fond, il fut évident que le câble était saisi. A onze heures du soir, la brise fraîchissait du N.-N.-O.; le navire était debout à la lame et commençait à tanguer d'une manière inquiétante pour le câble; le relèvemeut fut poursuivi néanmoins. A onze heures quinze enfin, le grappin émergeait de l'eau, portant sur une de ses pattes le double du câble (Pl. IV, *fig.* 3), le côté sud presque vertical, le côté nord un peu plus tendu.

Un second filin de drague fut frappé sur le câble, et le grappin ayant été dégagé, le câble fut hissé à bord en double, solidement bossé, coupé et les deux bouts mis en communication par des fils de secours avec la chambre d'expériences du bord.

Dans les deux guérites du Prado et d'Hussein-Dey, le

câble était relié à des appareils à miroir extrêmement sensibles, et des employés étaient chargés d'y veiller jour et nuit, observant une petite raie lumineuse dont le déplacement sur une échelle graduée devait leur révéler la présence du navire sur le câble. A minuit trente, la *Charente* attaqua successivement Marseille et Alger, sans obtenir de réponse d'aucun de ces postes. La brise continuait à fraîchir ; les hommes chargés de veiller le câble à l'avant du navire, me firent prévenir que sous l'action d'un tangage de plus en plus accentué, une rupture du câble devenait possible. Il fallut renoncer à communiquer avec la terre, et on se borna à prendre une mesure rapide de la résistance des deux sections du câble, le spot oscillant d'une extrémité de l'échelle à l'autre ; le côté de Marseille donna environ 400^{ω}, le côté d'Alger 4.900^{ω}. Les deux bouts du câble furent *obturés* immédiatement après, c'est-à-dire recouverts de gutta-percha, de manière à ne permettre aucun passage d'un courant électrique du conducteur central en cuivre à la mer (Pl. V, *fig.* 4); à une heure du matin, la mer étant déjà devenue trop agitée pour qu'il fût possible de mener à bonne fin toutes les opérations qu'aurait nécessitées l'immersion de deux bouées, je me décidai à frapper les deux sections du câble sur un même filin de drague et à les immerger ensemble pour les raccorder à une seule bouée. Un gros champignon fut amarré au maillon de jonction qui terminait la première pièce de filin, afin de maintenir autant que possible le câble, une fois arrivé au fond de la mer, dans son lit. 1.200 mètres de filin de drague, suivis de 400 mètres de filin de bouée furent immergés ensuite sans incident ; la tension moyenne indiquée par le dynamomètre variait de 4.000 à 4.500 kilogrammes,

mais, sous l'action du tangage du navire, s'élevait parfois jusqu'à 5.000 kilogrammes pour retomber à zéro presque immédiatement après, lorsque l'avant du navire plongeait dans la mer. Au passage sur le tambour de la seconde pièce de filin de bouée, alors que 1.600 mètres de filin étaient déjà immergés, et que, par suite, les deux bouts du câble ne devaient plus se trouver qu'à 150 ou 200 mètres du fond, l'émerillon du maillon de jonction des deux pièces de filin céda brusquement et le bout libre du filin échappa à la mer avec la rapidité de l'éclair.

L'émerillon (Pl. IV, *fig.* 5), placé sur chaque maillon de jonction, se compose d'un étrier dont la base est traversée par une tige terminée à l'intérieur de l'étrier par une partie élargie et du côté opposé par un anneau auquel viennent se raccorder les autres anneaux du maillon. Son but est d'empêcher la torsion que l'agitation superficielle de la mer communique à la bouée, de se transmettre le long du filin, qu'il tend à décorder, jusqu'au champignon et de le faire déraper, ou jusqu'au câble où se produiraient des coques qui le rompraient en très peu de temps.

Dans les maillons de jonction fabriqués à Angers, la tige de l'émerillon, au lieu d'être rivée sur sa tête, y était simplement vissée ; une goupille traversait, en outre, les deux pièces pour assurer leur fixité relative. Sous une tension de 4.000 à 4.500 kilogrammes, qui était celle indiquée par le dynamomètre au moment de l'accident, les filets de la vis s'écrasèrent et permirent à la tige de l'émerillon de glisser dans sa tête et d'échapper ainsi à l'étrier. Ces maillons eussent dû résister au moins à la tension de 6.000 kilogrammes exigée pour les filins de drague que cette même maison avait

fournis; malheureusement aucun d'eux n'avait été essayé à l'usine, et ce matériel arrivé à Toulon au dernier moment, fut embarqué le jour même où la *Charente* prit la mer.

Aucun travail ne devant être possible le lendemain, en raison de l'état de la mer, la *Charente* fit route pour Marseille, où elle séjourna jusqu'au 1er décembre.

La carte de détail n° 1 (Pl. II) montre que le dragage n° 2, au cours duquel le câble fût saisi, passe à environ 1mille,500 au sud de la position présumée de la faute; les expériences faites sur le câble, dans la nuit du 28 au 29 novembre, prouvaient d'un autre côté, sans doute possible, que le câble avait bien été saisi au sud de la faute. La résistance de 4.900$^{\omega}$ trouvée sur la section comprise entre le navire et Alger, correspond, en effet, sensiblement à celle de 450 milles de câble, augmentée de la résistance de l'appareil à miroir placé à la suite du conducteur. En raison des variations de la résistance de la faute et de la rapidité avec laquelle durent être faits les essais à bord, il ne fut pas possible de tirer de l'essai fait sur la section comprise entre le navire et Marseille une indication plus exacte de la position de la faute. Une mesure de la résistance de cette même section, prise le 29 à la guérite du Prado, donna 700$^{\omega}$, nombre sensiblement égal à celui obtenu par M. Pelletier, le 13 octobre (expérience n° 2) ; la section du câble comprise entre Marseille et la faute n'avait donc pas été touchée. Alger nous fit savoir, à notre retour à Marseille, que, après avoir constaté un isolement sur le câble, le 29, vers une heure du matin, il avait observé une perte à la terre quelque temps après, et que la résistance du câble paraissait être d'environ 5.400$^{\omega}$. Le bout du câble ayant été obturé

avant d'être réimmergé, il fallait admettre ou que l'obturation laissait à désirer ou qu'une rupture s'était produite dans la partie soulevée du câble pendant les opérations d'immersion du filin de bouée.

Je m'empressai de profiter du séjour de la *Charente* à Marseille pour remplacer tous les maillons des nouveaux filins de drague et de bouée par d'anciens maillons fabriqués en Angleterre, qui existaient à bord.

(*A suivre.*)

WÜNSCHENDORFF.

DOCUMENTS RELATIFS

A LA

TRANSMISSION DE LA FORCE

PAR L'ÉLECTRICITÉ

I

RAPPORT SUR LES EXPÉRIENCES DE M. MARCEL DEPREZ RELATIVES AU TRANSPORT DE LA FORCE ENTRE CREIL ET PARIS (*).

Note de M. MAURICE LÉVY.

§ 1. *Objet de cette note.* — Une Commission composée, en partie, de membres de l'Académie, en partie d'ingénieurs, a, sur la demande de MM. de Rothschild et d'accord avec notre confrère M. Marcel Deprez, accepté la mission de constater les résultats actuellement obtenus, par lui, dans ses expériences de transport de la force entre Creil et Paris.

Cette Commission, dont la présidence d'honneur a été décernée à M. de Freycinet, membre de l'Académie, et la présidence effective à M. le secrétaire perpétuel J. Bertrand, a confié le soin de la préparation et de la rédaction de son rapport à une Sous-Commission ainsi composée :

Président : M. J. Bertrand.
Membres : MM. Becquerel, Collignon, Cornu, Laussedat, Maurice Lévy, A. Sartiaux.

Sur l'avis de M. le Secrétaire perpétuel, j'ai l'honneur de rendre compte à l'Académie des travaux de cette Sous-Commission, dont j'ai eu l'honneur d'être le rapporteur.

Il est nécessaire, pour cela, de rappeler d'abord brièvement le but poursuivi par M. Deprez et les dispositions essentielles de son projet.

§ 2. *Objet des expériences.* — Le but, dans le principe, a été celui-ci : prenant 200 chevaux de force motrice à la station de Creil, sur la ligne du Nord, les transmettre électrique-

(*) *Comptes rendus*, séance du 2 août 1886.

ment à la gare de la Chapelle, soit à 56 kilomètres de distance, avec un rendement industriel de 50 p. 100.

La force motrice devait être fournie à Creil par deux machines locomotives et transmise à l'aide d'une seule machine dynamo-électrique génératrice. Elle devait être recueillie à Paris par deux machines réceptrices.

Par des raisons d'ordre administratif, et indépendantes de la volonté de M. Deprez, une seule de ces deux machines ayant été construite, on ne peut recevoir à Paris que 50 chevaux en en prenant 100 à Creil.

§ 3. *Causes des insuccès d'abord obtenus.* — Les expériences, préparées avec le concours d'une Commission d'ingénieurs (*), se poursuivent depuis le mois de novembre 1885.

Les débuts, on se le rappelle, n'en furent pas heureux; il peut toutefois être instructif d'en retenir ce fait, que les insuccès qu'on y a rencontrés ont tous eu la même cause : une exécution vicieuse ou trop imparfaite des anneaux de la génératrice.

La génératrice de Creil, comme la réceptrice de Paris, comporte deux anneaux Gramme, montés sur un même arbre et assemblés en tension.

Dans les machines Gramme, le noyau en fer doux sur lequel s'enroule le circuit de l'anneau est le plus souvent en fil de fer.

M. Marcel Deprez a préféré adopter, pour cet organe, des rondelles en tôle mince, isolées les unes des autres par du papier paraffiné.

Dans les premiers anneaux fabriqués, on a bien isolé les rondelles de cette façon, mais imparfaitement; quant aux boulons de serrage qui traversaient toutes les rondelles, on les avait simplement recouverts d'une couche de vernis à la gomme-laque, ce qui était suffisant au point de vue électrique, mais non au point de vue mécanique; le vernis a été brisé pendant l'opération de l'enfoncement des boulons. Aussi, dès les premiers essais, il s'est produit, dans toute la masse de fer, des courants de Foucault formidables qui ont absorbé

(*) Cette Commission est ainsi composée :
Président : M. Collignon;
Membres : MM. Aron, Baron, Cacl, Constantin, Delebecque et Alber Sartiaux.

la presque totalité de la force motrice. Le rendement était presque nul.

Première réfection des anneaux de la génératrice. — On s'est alors déterminé à faire de nouveaux anneaux avec noyaux en fil de fer. Le rendement a été meilleur. Mais, comme on s'était borné à entourer les fils de deux couches de soie et d'une couche de coton, sans que le tout fût imbibé de gomme-laque; que, de plus, l'enroulement des fils n'avait pas été fait de façon à éviter de grandes différences de potentiel entre les fils voisins, on a eu de fréquentes avaries.

Ce sont ces anneaux qui ont fonctionné lors de la visite de l'Académie des Sciences, faites le 5 décembre dernier.

Ce jour-là, une pluie avec rafales a, comme on sait, mêlé le fil de la ligne avec les fils télégraphiques. Il en est résulté des décharges ressenties à la Chapelle, ainsi qu'au bureau télégraphique de l'artillerie à Saint-Denis où deux appareils ont été brûlés. Les anneaux ont été mis hors de service et l'on a dû interrompre l'expérience.

Réfection définitive des anneaux de la génératrice. — A la suite de cet incident, M. Deprez s'est décidé à reconstruire à nouveau ses anneaux, en revenant cette fois à son idée première de former les noyaux avec des rondelles en tôle, mais en ayant soin d'entourer chaque boulon de serrage d'un tube en caoutchouc durci.

En même temps, pour éviter des remaniements trop grands des machines, les diamètres des anneaux, prévus d'abord de $1^m,40$, furent réduits à $0^m,78$; la vitesse de marche prévue de 400 tours fut sagement réduite à 200.

Les bobines furent fabriquées par secteurs occupant chacun $\frac{1}{7}$ de la circonférence et enroulées par couches d'un seul fil continu, de façon à ne mettre en contact que des fils à faible différence de potentiel.

D'autre part, pour la facilité de la fabrication, les noyaux en tôle ne sont plus constitués d'une seule pièce, mais de deux secteurs dont l'un occupe les $\frac{6}{7}$ de la circonférence et laisse, par conséquent, une lacune égale à $\frac{1}{7}$, par laquelle on peut enfiler six des sept bobines formant l'enroulement de l'anneau, comme on enfile des perles dans un chapelet.

On a ainsi constitué les $\frac{6}{7}$ de l'anneau. Le dernier septième

est posé tout d'une pièce avec son noyau, à la façon d'une clef de voûte.

Ces dispositions ont, au point de vue industriel, le précieux avantage, non seulement de simplifier la fabrication première des anneaux, de les rendre très robustes et très résistants, mais aussi de permettre de faire rapidement la réparation des avaries qui pourraient se produire.

Si un fil vient à être brûlé, il suffit de remplacer le secteur dont il fait partie; et, comme les secteurs sont tous pareils, on en fabrique d'avance un certain nombre formant pièces de rechange qu'on pose sans difficulté et sans en avoir à refaire tout l'anneau.

C'est avec l'introduction de ces divers perfectionnements qu'a pris fin la période des essais infructueux, des accidents sans cesse renouvelés, et qu'a commencé une période de marche sage, lente et assurée.

Les nouveaux anneaux fonctionnent depuis le mois de février dernier de la façon la plus satisfaisante, fournissant des marches de cinq, six et jusqu'à neuf heures consécutives, sans avarie et en ne s'échauffant que d'environ 47 degrés (*).

§ 4. *Inducteurs de la génératrice.* — Les inducteurs de la génératrice sont formés par huit électro-aimants en fer à cheval placés dans des plans passant par l'axe des anneaux, deux à deux diamétralement opposés, de sorte que leurs épanouissements polaires embrassent bien les circonférences des anneaux (**).

L'emploi de deux anneaux avec électro-aimants en fer à

(*) Ce chiffre de 47° ne résulte pas d'une mesure thermométrique directe qu'il serait impossible de faire dans la masse profonde des fils. Mais la résistance des anneaux, qui, à froid, est de 38 ohms, s'élève, après une journée de marche, à 45 ohms, soit une augmentation de 7 ohms ou des $7/38 = 0{,}184$ de sa valeur.

Or, la résistance du cuivre s'accroît des 0,40 de sa valeur environ pour un accroissement de température de 100°, d'où résulte ici un accroissement de température de $\frac{100° \times 0{,}184}{0{,}40} = 46°{,}5$, soit 47° environ.

(**) Il y a toutefois dans la machine de Creil un peu trop d'écart entre la périphérie des anneaux et les surfaces polaires des inducteurs; moyennant un peu plus de précision dans la construction, on pourra diminuer cette distance, ce qui augmentera les effets du champ magnétique.

cheval est très avantageux, en ce qu'on évite par là tout pôle conséquent. Les seules surfaces polaires qui existent sont celles qui épousent le pourtour des anneaux, de sorte que tous les pôles sont parfaitement et complètement utilisés.

Cette disposition avait déjà été adoptée par M. Marcel Deprez dans l'excellente machine qui a servi dans ses précédentes expériences de la gare du Nord. Seulement, là, il n'avait employé que deux électro-aimants au lieu de huit.

On peut se demander laquelle des deux dispositions est la meilleure. Y a-t-il avantage ou inconvénient à multiplier le nombre des électro-inducteurs?

La question se pose ainsi :

Voulant consacrer aux inducteurs une longueur donnée de fil de cuivre d'une section et, par suite, d'une résistance également donnée, est-il préférable de répartir ce fil sur un grand nombre d'électro-aimants de petit calibre ou d'adopter la disposition contraire?

La théorie des solénoïdes se prononce pour cette dernière solution, puisque, pour un solénoïde de longueur donnée, avec enroulement d'un volume donné, le fil dépensé ne croît que proportionnellement au rayon du solénoïde, tandis que les surfaces polaires obtenues croissent comme le carré de ce rayon.

Il convient donc, et c'est là ce qui a guidé M. Deprez dans la construction de ses machines, d'employer, autant que les sujétions de la construction le permettent, de gros électro-aimants en petit nombre, pour obtenir un champ magnétique à bon marché. Nous verrons d'ailleurs que l'expérience confirme bien, sur ce point, les prévisions de la théorie.

§ 5. *Machine dynamo-réceptrice.* — La machine dynamo-réceptrice placée à la Chapelle est de dimensions un peu plus restreintes que la génératrice, puisqu'elle ne reçoit que la moitié environ de la force consommée à Creil. Les noyaux de ses anneaux sont en fil de fer, ce qui tient à ce qu'elle a toujours très bien fonctionné, de sorte qu'on n'a pas eu de raison d'y remplacer, comme on l'a fait pour la génératrice, le fil de fer par des rondelles en tôle.

Sauf ces différences, les deux machines sont conçues dans le même esprit.

§ 6. *Fil transmetteur. Inutilité et danger possible de l'isoler sur toute sa longueur.* — La distance du transport étant de 56 kilomètres, le fil transmetteur, aller et retour, a une longueur totale de 112 kilomètres. Il est en bronze siliceux de 5 millimètres de diamètre. Sa résistance est de 97ohms,45, c'est-à-dire celle d'un fil télégraphique ordinaire d'environ 10 kilomètres de longueur.

Dans le principe, on l'avait entouré, sur les deux tiers de sa longueur, d'une enveloppe en chanvre trempée dans de la résine, et elle-même enfermée dans un tube de plomb.

Cette précaution n'a pas empêché l'accident dont nous avons parlé plus haut, survenu le jour de la visite de l'Académie. Et, en effet, lorsque, par un coup de vent, les fils télégraphiques viennent à frapper le fil de la ligne, la violence du choc peut déchirer le plomb et produire, par suite, le contact, que le tube de plomb avait pour objet d'éviter.

Cette précaution ne sert donc de rien et, comme le poids du plomb conduit à augmenter la flèche du fil, afin qu'il ne soit pas soumis à une tension élastique capable de le rompre, elle a simplement pour effet de faciliter les rencontres des divers fils et, par suite, de multiplier les accidents.

D'autre part, le chanvre placé entre le cuivre et le plomb peut, dans des temps très humides où l'isolement de la ligne ne serait pas parfait, se trouver exactement dans le cas du diélectrique d'un condensateur, par exemple, du verre placé entre les armatures intérieure et extérieure d'une bouteille de Leyde, et il peut en résulter des condensations électriques dangereuses.

Ainsi, à tous les points de vue, les précautions prises pour éviter les accidents se trouvent aller à l'encontre de leur but. Il y a donc lieu de penser que la meilleure solution consiste à laisser le fil nu. Il en résultera naturellement une importante économie dans le prix de son établissement, et toute économie non contraire à la sécurité publique doit être acceptée et encouragée, puisque c'est une facilité donnée aux applications industrielles du transport de la force.

Seules précautions proposées pour le fil. — Les seules précautions qu'il paraisse utile de prendre pour le fil sont celles-ci :

1° L'isoler fortement à son entrée et à sa sortie des machines, c'est-à-dire là où il est à la portée de la main;

2° Partout ailleurs, le placer à une hauteur telle qu'il soit inaccessible;

3° Le placer à une distance assez grande des fils télégraphiques et surtout des fils téléphoniques, pour éviter d'une manière absolue, non seulement tout mélange, mais tout effet d'induction.

Une distance de 75 centimètres à 1 mètre paraît suffisante pour ce but lorsqu'on emploie, comme dans les expériences de Creil, un fil de retour.

Si, ce qui serait infiniment désirable et important, ce que nous souhaiterions vivement, on entreprenait des expériences de transport, sans fil de retour, la distance à observer serait naturellement beaucoup plus grande et ne pourrait être fixée que par l'expérience elle-même.

§ 7. *Excitatrices. Champs magnétiques.* — Les deux machines dynamo-électriques employées à Creil et à la Chapelle ne s'excitent pas elles-mêmes. Chacune d'elles est excitée par une machine Gramme à basse tension. Celle de la Chapelle a reçu le double enroulement imaginé par M. Marcel Deprez, l'un des deux enroulements étant en dérivation, de façon à maintenir une différence de potentiel sensiblement constante aux bornes de la machine, malgré les différences de résistances qui peuvent se produire dans le circuit.

Celle de Creil est une machine ordinaire.

On a donc ainsi trois circuits électriques distincts :

1° Un circuit local à Creil, formé par l'excitatrice et les inducteurs de la géneratrice.

C'est le courant de ce circuit qui produit le champ magnétique à Creil.

2° Un circuit local à la Chapelle, formé de même par l'excitatrice et les inducteurs de la réceptrice.

C'est le courant de ce circuit qui produit le champ magnétique à la Chapelle.

3° Un circuit géneral ou de jonction, dans lequel entrent la ligne et les anneaux des deux machines géneratrice et réceptrice.

Des courants qui traversent ces trois circuits, le dernier, celui de la ligne, est seul à haute tension.

On aurait pu disposer les machines de façon qu'elles s'excitassent elles-mêmes et n'avoir, par suite, qu'un circuit unique comprenant la ligne avec les inducteurs et induits des deux machines. On eût ainsi supprimé les deux excitatrices et gagné le travail dépensé à les mettre en action.

Mais les champs magnétiques se trouvant alors dans le circuit de haute tension qui produit le travail à transmettre eussent été affectés par tout changement brusque survenant dans les résistances à vaincre, et ces modifications eussent produit, dans les grandes masses métalliques que comprennent les inducteurs, des effets d'aimantation ou de désaimantation brusques, entraînant, à leur tour, de violentes réactions électriques dangereuses pour les anneaux.

On peut se rendre compte de ces effets par le fait suivant :

Si, à la Chapelle, à la fin d'une opération, c'est-à-dire au moment où tout courant vient de cesser, on rompt le circuit des inducteurs, il s'y produit une violente étincelle, et cela même cinq ou six secondes après que le courant a été interrompu.

Cela tient à l'induction produite par la désaimantation du fer.

Le champ magnétique, en quelques secondes, passe de la valeur considérable qu'il avait pendant l'opération à une valeur nulle.

La vitesse de désaimantation est donc extrêmement grande et produit des effets d'induction extrêmement considérables.

Le même fait se produirait à plus forte raison à Creil.

Il était donc nécessaire, malgré le surcroît de dépense qui en résulte, de constituer des champs magnétiques à l'aide de courants de basse tension, distincts du courant de la ligne, et ne participant que dans une mesure insensible aux variations que ce dernier peut subir, par suite d'à-coups dans les résistances à vaincre.

(*A suivre.*)

SUR

L'EMPLOI DU COFFERDAM DANS LES PILES

On peut appliquer le terme générique de *piles humides* (*) à toutes celles dont le liquide, au lieu d'être à l'état libre, est retenu par une masse absorbante insoluble dans ce liquide et faisant office de diaphragme.

Les avantages propres à ces sortes de piles en général sont très importants, au point de vue pratique; ils résultent en premier lieu de ce que ne comprenant que des substances à l'état solide, elles se prêtent à toutes les formes et dispositions; en outre, elles permettent la suppression de ces lourdes, encombrantes et fragiles poteries de verre, de grès, de porcelaine et autres matières céramiques, imposées aux piles à liquide libre; leur récipient peut se réduire dans la plupart des cas, à une légère enveloppe qui les enferme étroitement, les préservant de l'évaporation, et pour le choix de laquelle on n'est pas limité. En un mot, les *piles humides*, sous les aspects les plus variés et sous un très faible volume, présentent une légèreté (**), une stabilité et une solidité incom-

(*) Dans cette catégorie nous comprenons, bien entendu, les piles très improprement qualifiées de *sèches*. Notre définition s'applique également aux piles à deux liquides immobilisés; par exemple, la *pile militaire*, genre *Daniell*, *à papier buvard*, de M. Trouvé.

(**) Cet avantage de légèreté relative existe dans la plupart des piles humides, en dépit du *poids mort* ajouté par la masse absorbante inerte. La

parables, toutes qualités précieuses dans la plupart des applications, indispensables dans quelques-unes.

L'idée (*) des piles humides remonte à l'origine même de l'industrie électrique. C'est Volta en effet qui, après avoir créé le premier générateur hydro-électrique sous la forme de la *couronne de tasses* (**), et *dans le but de rendre l'appareil transportable*, imagina la *pile à colonnes* (***), prototype des piles humides. Tout le monde connaît la disposition de cet appareil classique, dans lequel des rondelles de *drap* faisaient office de diaphragmes absorbants.

A diverses époques depuis Volta, de nombreuses combinaisons de piles humides ont été tentées; toutes sortes de matières, d'origine minérale, végétale ou animale, qui par leur structure poreuse ou par leur état de division sont susceptibles d'emmagasiner les liquides, ont été tour à tour essayées; citons les principales : *sable*, *terre végétale*, *amiante*, *sciure de bois* *papier buvard*, *tissus divers*, *éponges*, *etc.* (****).

raison en est que le choix de cette masse étant exclusivement porté sur des corps très poreux et par suite peu denses, le poids additionnel qu'elle apporte à la pile est faible et toujours plus que compensé par la suppression de verreries, porcelaine, etc.

(*) Quant au *terme* même, il doit être attribué à M. G. Trouvé, qui le premier l'appliqua à ses piles à papier buvard bien connues.

(**) L'antériorité de la *couronne des tasses* sur la *pile à colonnes* est un fait souvent ignoré ou méconnu. A. Niaudet, qui attachait à ce point historique l'importance qu'il mérite le mentionne, en le soulignant, dans son excellent livre : *Traité élémentaire de la pile électrique* (voir p. 12 de la 2e édit.). Dans le même ouvrage, nous signalerons les observations très intéressantes de l'auteur, relativement à la forme originale de la pile à colonnes; bien différente et préférable à celle qu'il est souvent convenu de lui attribuer.

(***) Il est de règle maintenant de n'accorder à cette pile qu'un intérêt purement historique; on n'apprécie pas assez, suivant nous, l'admirable simplicité d'un appareil à la disposition duquel, nous en sommes convaincu, on reviendra un jour, du moins pour certains usages.

(****) L'*agar-agar*, ou mousse des Indes, paraît avoir donné d'excellents résultats. (N. D. L. R.)

Avant d'aller plus loin, quelles sont, au point de vue qui nous occupe, les conditions essentielles d'un absorbant parfait? Nous pouvons les établir ainsi :

1° Grand pouvoir d'absorption;

2° Faible résistance additionnelle apportée au liquide de la pile;

3° Absence de toute action chimique de la part de ce liquide (dissolution saline, acide ou alcaline);

4° Faible poids spécifique.

Nous allons voir que chacune des matières énumérées ci-dessus est en défaut, par l'un sinon par plusieurs de ces points.

Le sable, la terre, l'amiante, absorbent peu, et sont, le second surtout, mauvais conducteurs, du moins par rapport à un liquide excitateur; de plus ils sont très denses. La sciure de bois absorbe un peu plus mais elle *s'égoutte* facilement, se corrompt vite. Le papier buvard, les tissus, ne satisfont encore que médiocrement à la condition numéro 1 et ne résistent guère qu'aux dissolutions salines. Enfin l'éponge, la plus perméable, la plus légère des substances passées en revue, n'est réfractaire ni aux acides ni aux alcalis et, sous l'action des sels, elle perd rapidement de son pouvoir contractile.

Par suite des imperfections propres à chacun des absorbants en usage jusqu'ici, il ne faut pas s'étonner que, malgré leurs avantages, les piles humides n'aient encore reçu qu'une part restreinte d'applications : l'art militaire, la médecine, l'électricité domestique, telles sont à peu près les seules branches scientifiques ou industrielles qui aient pu en obtenir quelques services.

La récente découverte d'une matière absorbante exceptionnelle amène aujourd'hui la question sur un

terrain nouveau. Le mérite en revient à M. P. Germain, fonctionnaire de l'administration des télégraphes. L'attention de M. Germain s'est portée sur la *noix de cocotier.*

Avant lui, un officier supérieur de la marine, M. Pallue de la Barrière, avait révélé les remarquables propriétés compressibles de la cellulose renfermée dans l'écorce du coco, d'où il tira la substance connue aujourd'hui sous le nom de *cofferdam*. Sa découverte fut appliquée aux blindages des navires.

Reprenant dans un autre but l'étude de cette substance, M. P. Germain a obtenu des résultats intéressants. Remarquons d'abord que, tout en présentant la même constitution éminemment celluleuse, le *cofferdam* applicable aux *piles* n'a pas tout à fait la même origine ni la même composition chimique que celui de la marine; il est extrait, non pas de l'écorce centrale de la noix, mais des fibres externes de celle-ci.

Le traitement industriel de ce produit est moins simple qu'on ne pourrait le supposer. La matière brute en est d'abord séparée des fibres sous-jacentes destinées au cofferdam marin et dont elle constitue le *déchet;* puis elle est peignée et triturée à un extrême degré de division; enfin le produit pulvérisé est débarrassé d'une *partie soluble nuisible*, qui laisse libres la *paracellulose* et la *vasculose* formant, avec une petite fraction de *sels maliques* et *oxaliques*, la composition de la *portion utile*, *insoluble*, de la substance.

Le cofferdam spécial ainsi obtenu, et que M. P. Germain appelle *sporique*, ne peut mieux se comparer, pour l'aspect et la couleur, qu'à la poudre de cacao. Un peu moins léger que le cofferdam marin, il l'est

encore prodigieusement; sa densité n'est en effet que de 0,08 (*). Sa contractilité est telle que, sous la simple pression de la main, on peut réduire son volume des 2/3; ainsi tassé, sa densité atteint 0,22, encore trois à quatre fois plus faible que celle de l'éponge.

Son pouvoir absorbant dépasse de beaucoup celui de toutes les matières connues : un volume donné de cofferdam peut facilement être imprégné d'un égal volume de liquide et, fait curieux autant qu'appréciable, *le volume total n'est qu'insensiblement supérieur à celui du liquide seul*, autrement dit, la place occupée par le cofferdam dans le mélange est *négligeable* (**).

En opérant un tel mélange, à volume égal, avec l'eau pure, le rapport du poids du liquide à celui de la matière absorbante est, d'après le rapport des densités : 12,5 (***). Pour des liquides de densité variant, par exemple, entre 0,8 et 1,5, le même rapport variera entre 20 et 10.

Le pouvoir absorbant du cofferdam diffère peu d'un liquide à l'autre; cependant M. Germain a constaté que des dissolutions de certains sels, notamment les chlorures, sont celles qui se résorbent le mieux.

Nous avons dit que le cofferdam peut immobiliser son volume de liquide; mais, dans la pratique il faut à peu près *doubler* le volume de matière solide (ce volume restant négligeable par rapport au volume total), pour obtenir une pâte suffisamment *stable*, que

(*) Nous donnons ces chiffres sous notre entière responsabilité; déterminés expérimentalement, pour notre propre compte, au laboratoire de la Société des téléphones, ils confirment en tous points les résultats obtenus et annoncés par M. P. Germain.

(**) Par suite, et l'expérience le prouve, la résistance électrique ajoutée au liquide emmagasiné est également négligeable en pratique.

(***) Les meilleurs qualités d'*éponges* ne peuvent absorber qu'environ 7 fois leur poids d'eau, soit près de 2 fois moins que le cofferdam.

nous appellerons, si l'on vent, la *pâte normale*. Dans un poids donné de cette pâte, si le liquide est l'eau pure, la partie solide entrera pour moins de 1/7 du poids total; suivant la densité des liquides employés, soit de 1,5 à 0,8, ce rapport variera entre 1/6 et 1/10.

Le mode d'absorption du cofferdam sporique diffère essentiellement de celui de la plupart des autres matières celluleuses, en ce que l'action n'est nullement spontanée; il faut, pour ainsi dire, le contraindre à ouvrir ses pores et il n'obéit qu'à une pression, à un foulage énergique. La chaleur, provoquant une sorte d'épanouissement momentané des cellules, facilite notablement l'absorption; aussi, dans la préparation industrielle des pâtes, est-il avantageux de recourir à l'étuve.

Si le cofferdam ne donne pas un accès facile aux liquides, par contre, une fois ceux-ci emprisonnés, il ne les laisse pas aisément sortir; les cellules, contraintes de s'ouvrir pour livrer passage, se referment sur eux et, pour les en extraire, il faudrait, comme dans l'opération inverse, employer un artifice. Grâce à cette particularité, les pâtes de cofferdam ne sont nullement sujettes, comme toutes les autres, à s'égoutter.

Le cofferdam *est fort mauvais conducteur de la chaleur;* par suite, il préserve les liquides auxquels il est mêlé de l'*évaporation* ainsi que de la *gelée.*

Disons enfin que le cofferdam sporique est d'une insolubilité remarquable, non seulement dans l'eau, mais dans la plupart des dissolutions salines, acides et mêmes alcalines; à l'appui de cette assertion, viennent des essais prolongés et sérieux opérés par MM. Crosse père et fils, concessionnaires des procédés Germain.

Parmi les applications du cofferdam étudiées jusqu'ici par M. Germain, il en est une qui l'a occupé tout particulièrement et de laquelle, dignement secondé par les constructeurs, MM. Crosse, il a tiré les meilleurs résultats ; c'est l'application à la pile *Leclanché*. Nous allons la décrire en détail parce que, du moins pour la *forme*, elle peut servir de type à un grand nombre de piles primaires *humides*.

Notre *fig.* 1 représente un *couple Leclanché à cofferdam*. dans lequel tous les organes sont rendus visibles par une section verticale pratiquée un peu en avant de la partie médiane.

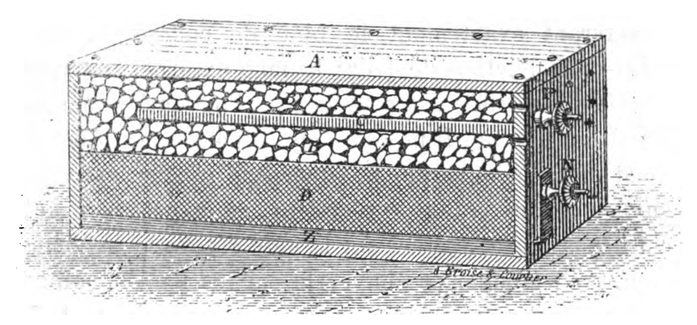


Fig. 1.

A (*) est une boîte légère, en bois de sapin ou de peuplier, *bouilli dans la paraffine* et enduite intérieurement d'un mastic imperméable et plastique. Au fond de cette boîte est disposé un premier lit B, d'un mélange, à volume égal, de peroxyde de manganèse et de charbon en granules ; par-dessus, une lame C, en char-

(*) Ainsi que notre description le fera comprendre, la boîte A, pendant le montage se trouve *renversée ;* ce n'est qu'une fois monté, que l'appareil se présente dans le sens de la figure ; nous verrons plus loin quelle utilité il y a de tenir le couple dans cette position.

bon aggloméré de haute conductibilité ; puis un second lit B′, semblable au premier. Le reste de la boîte est alors occupé par une couche D, de *pâte normale*, de *cofferdam*, tenant en dissolution une liqueur, *saturée à chaud*, de chlorhydrate d'ammoniaque. Cette pâte est légèrement *tassée*, puis *nivelée ;* son épaisseur est réglée de telle sorte qu'elle vient dépasser un peu le niveau de la boite. Enfin, une lame de zinc fortement amalgamé (ou plutôt une série de lames dont nous expliquerons plus tard l'utilité) repose sur le tout et, recouvrant exactement le bloc de cofferdam, isole celui-ci de l'action de l'air; la face externe, inactive, de cette électrode est protégée de l'oxydation par un vernis au bitume. Il ne reste plus qu'à fermer la boîte ; à cet effet, le couvercle E, superposé au zinc, est vissé sur les quatre côtés du récipient, et la pression qu'il est nécessaire d'exercer sur la pâte *élastique* de cofferdam, pour amener ce couvercle sur les parois, suffit à assurer, en même temps qu'un *contact liquide* de la surface active des électrodes avec la pâte, une cohésion parfaite à toute la masse.

On comprend que, dans cet état, l'appareil puisse être transporté, renversé dans tous les sens, subir des chocs, et même *tomber à terre de la hauteur d'un homme*, sans qu'il en résulte rien de fâcheux pour le fonctionnement du couple.

Deux ouvertures sont pratiquées dans l'un des côtés de la boîte pour le passage des pôles, constitués par les bornes P et N. La borne positive fait corps avec le charbon ; une tige métallique filetée, solidement soudée à celui-ci, permet d'y adapter un bouton de serrage. La borne négative est fixée sur une queue découpée dans une des lames (celle placée à l'extérieur)

composant l'électrode zinc et fait donc également corps avec celle-ci.

La disposition spéciale de l'électrode zinc mérite de nous arrêter un instant. Au lieu d'une lame unique très épaisse, qu'il est souvent impossible d'amalgamer dans toute la masse et qui laisse facilement couler le mercure superficiel, elle comprend, comme nous l'avons dit, une série de lames distinctes de même grandeur, l'une d'une épaisseur en rapport avec la destination du couple, mais ne dépassant jamais $0^m,005$, les autres très minces (4 à 5/10 de millimètre) accolées, en nombre variable, à la première. Chacune des lames est amalgamée isolément, puis elle sont superposées les unes aux autres, les minces par-dessus la plus épaisse, qui forme support ; le mercure déposé à la surface des lames est ainsi retenu entre elles et les soude intimement ; il en résulte que l'amalgamation de l'électrode est assurée d'une façon parfaite, sur toute son épaisseur.

Nous avons vu que la constitution du couple lui permettait de fonctionner dans toutes les positions ; cependant, il a été reconnu que le sens dans lequel le représente notre figure, *le zinc en bas*, doit être adopté de préférence, parce que, d'une part, tout le poids étant porté sur l'électrode soluble, le contact de celle-ci avec la masse humide est mieux assuré, tandis que, d'autre part, les gaz, toujours portés à s'élever, trouvent plus facilement une issue vers la partie supérieure de la boîte, où des trous sont ménagés à cet effet (*).

(*) Ces trous, de très petit diamètre, sont représentés sur notre vignette, dans le panneau de droite, à la hauteur de l'électrode positive ; ils existent également dans la face opposée de la boîte. Indépendamment de l'issue des

La *force électromotrice* du couple que nous venons de décrire est, comme pour tout élément Leclanché, 1^{volt},5 au montage.

Sa *résistance*, pour une surface et pour un écartement des électrodes donnés, n'est pas sensiblement supérieure, avec le mélange de cofferdam, à celle qu'on obtiendrait avec la liqueur libre.

Sous le rapport de la *polarisation*, le couple partage à très peu près le caractère propre à tous les éléments au peroxyde de manganèse.

Pour ce qui regarde les autres considérations, les avantages du couple à cofferdam sur le couple Leclanché ordinaire sont incontestablement marqués ; nous en résumerons ainsi les principaux :

1° A volume et à poids donnés, *capacité électrochimique notablement augmentée* par la suppression de toute place perdue ;

2° Retard considérable apporté à la formation des *chlorure et oxychlorure peu solubles* et à l'augmentation de résistance correspondante. La raison en est que le couple étant absolument soustrait à l'évaporation, on peut impunément le charger avec une solution très concentrée (*saturée à chaud*, comme nous l'avons vu); or, l'on sait combien, dans la pile Leclanché, la concentration de la liqueur facilite la dissolution des produits résiduels ;

3° Enfin, grâce à une amalgamation assurée, *réduction au minimum de l'attaque locale possible du zinc*, et surtout *meilleure utilisation du métal*, par suite de la régularité parfaite de l'usure.

MM. Crosse ont créé trois modèles courants de ces

gaz, ils permettent, à travers la masse de peroxyde-charbon, une certaine circulation d'air, toujours favorable à la dépolarisation.

couples, correspondant à peu près, pour le volume et la capacité, aux modèles classiques de la pile Leclanché, mais d'une capacité électro-chimique presque *double.* Le petit et le moyen modèles, pouvant débiter respectivement 0,5 et 1 ampère, s'appliquent à la *télégraphie*, à la *téléphonie* et aux *sonneries d'appartement ;* le grand modèle disposé pour fournir de 2 à 5 ampères, suivant les cas, est destiné aux *signaux de chemin de fer*, à l'*horlogerie électrique*, aux *allumoirs*, aux *mines*, aux *torpilles*, enfin à l'*éclairage domestique intermittent.*

Souvent, les constructeurs montent deux couples dans une même boîte cloisonnée ; c'est là une forme très commode et portative. Notre *fig.* 2 représente

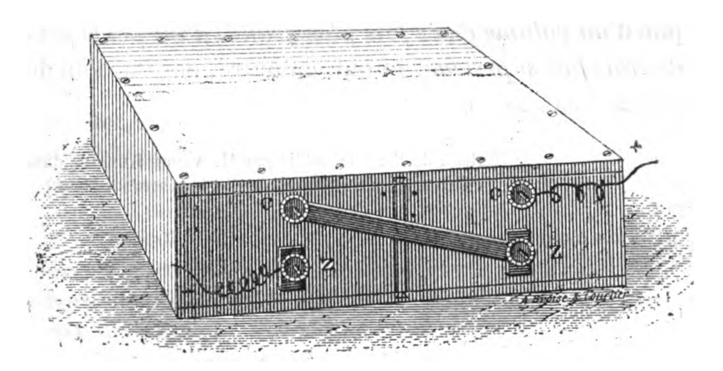


Fig. 2.

l'aspect extérieur d'une de ces boîtes, grand format, dans laquelle les couples sont reliés en tension.

D'ailleurs, pour disposer des couples en pile, les dispositions sont infinies ; on peut les monter côte à côte, les superposer, etc. La mode de construction de la pile se prêtant à toutes les exigences de formes et de di-

mensions, rien n'est plus facile que de se plier à chaque destination ; citons un exemple :

Pour alimenter des *postes téléphoniques militaires*, nous avions à combiner une pile robuste, légère, peu volumineuse, d'un format commode, en un mot, remplissant toutes les conditions d'un objet transportable, et permettant la transmission des signaux et de la parole jusqu'à 8 kilomètres de distance. A la faveur du cofferdam, la question a été facilement résolue. Sous un volume d'environ $0^{mc},004$ (*) et un poids total de 4 kilogrammes, nous avons pu réunir quatre éléments à peroxyde de manganèse, capables de fournir 1 ampère et 6 volts aux bornes, et 50.000 coulombs.

Pour obtenir les mêmes effets et la même durée avec des éléments Leclanché ordinaires, il eût fallu une pile d'*un volume deux fois plus grand*, *d'un poids près de trois fois supérieur*, et qui, en outre, eût été loin de présenter la même sécurité.

(Extrait de l'article publié par M. André Reynier dans *l'Électricien* des 30 octobre et 6 novembre 1886.)

(*) Les dimensions extérieures de la pile étant : $25 \times 15 \times 11^{cm}$.

CHRONIQUE.

Sur l'intensité du champ magnétique dans les machines magnéto-électriques.

Par M. MARCEL DEPREZ.

L'élément le plus important d'une machine dynamo-électrique est le champ magnétique, et l'on peut dire « tant vaut le champ magnétique, tant vaut la machine ». Cela est vrai, contrairement à l'opinion de certains électriciens, aussi bien lorsque la machine est employée comme réceptrice que lorsqu'elle sert de génératrice. Or le champ magnétique lui-même contient deux éléments, le volume et l'intensité, qui, à des degrés différents, constituent ses qualités utiles. Il est évident, en effet, qu'un champ très vaste, mais très peu intense, tel que celui du globe, ne peut rendre aucun service et qu'un champ extrêmement intense, mais très petit, comme celui qu'on obtient en rapprochant presque au contact les pôles opposés d'un puissant aimant, ne peut être employé utilement que dans des circonstances très restreintes, puisque les conducteurs destinés à subir l'action de ce champ ne peuvent avoir eux-mêmes qu'un volume très petit.

Si, dans une machine dynamo-électrique, on se donne toutes les dimensions des inducteurs, ainsi que l'intensité de courant qui circule dans leurs hélices, en laissant variable l'étendue des épanouissements polaires, ainsi que la distance qui les sépare du noyau de fer de l'anneau induit, le volume du champ magnétique annulaire compris entre ces deux pièces et dans lequel se meut le fil induit peut être facilement calculé en toute rigueur, mais il n'en est pas de même de l'intensité du champ, qui varie suivant des lois impossibles à déterminer théoriquement. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'il est naturel

de penser qu'elle diminue lorsqu'on accroît l'étendue des épanouissements polaires ou la distance qui les sépare du noyau de fer de l'induit. Pour élucider cette question, j'ai entrepris une longue série d'expériences dans des conditions très variées. J'ai opéré sur des électro-aimants de trois grandeurs différentes dont les noyaux de fer avaient respectivement des diamètres de 200, 90 et 60 millimètres, et j'ai mesuré pour chacun d'eux l'intensité de champ compris : 1° entre les pôles opposés de deux électros identiques animés tous deux par le courant; 2° entre les pôles de l'électro et une armature en fer soumise à son influence.

On concluait l'intensité du champ de la mesure de l'effort exercé perpendiculairement aux lignes de force sur un conducteur mobile traversé par un courant connu. On a fait varier, pour chacun des types d'électros soumis aux expériences, la dimension du champ comptée dans le sens des lignes de forcée, c'est-à-dire la grandeur des épanouissements polaires et enfin l'intensité du courant traversant les hélices magnétisantes.

Il m'est impossible de reproduire ici tous les nombres correspondant à ces différentes séries de recherches. Je dois me contenter de noter les faits fondamentaux que ces expériences ont mis hors de doute.

Influence de l'écartement des pièces magnétiques. — Contrairement à ce que certains électriciens ont affirmé, *l'intensité du champ décroît beaucoup moins vite que ne croît l'écart des pièces magnétiques.* Je citerai, par exemple, les expériences faites sur deux électro-aimants à deux branches ayant des noyaux de fer de 200 millimètres de diamètre dans lesquelles l'intensité du champ compris entre les deux pôles passe de $7^{mm},5$ à 75 millimètres, c'est-à-dire lorsqu'il est décuplé.

Lorsque le champ est compris entre un pôle magnétique et une armature en fer aimantée par son influence, la décroissance de l'intensité correspondant à l'accroissement de l'écart est plus rapide; mais elle est encore bien loin de ce qu'on supposait, puisque, au lieu d'être inversement proportionnelle au carré de la distance des pièces magnétiques en regard, comme l'ont affirmé certaines personnes guidées par une analogie grossière, elle est supérieure même à l'inverse de la racine carrée de cet écart. Pour rendre ceci plus clair, lorsque la dis-

tance passe de la valeur 1 à la valeur 4, l'intensité du champ décroît de 1 à 0,6.

Dans tous les cas, plus les noyaux des électros sont gros, plus l'intensité du courant qui les excite est considérable, plus les armatures sur lesquelles ils agissent sont épaisses et moindre est l'influence de la distance de l'armature aux pôles de l'électro. *Il résulte de là que, en rapprochant beaucoup les armatures des pôles inducteurs, on augmente très peu l'intensité du champ, tandis qu'on réduit presque à zéro la place disponible pour le fil induit.*

Si, dans une machine dynamo-électrique, on fait varier l'espace annulaire compris entre les épanouissements polaires et la surface extérieure du noyau de fer de l'anneau, ainsi que la quantité de fil induit enroulé sur ce dernier, de manière à remplir l'espace annulaire aussi exactement qu'il est possible de le faire sans nuire au bon fonctionnement de la machine, il est certain que l'efficacité de la machine variera avec la dimension de l'espace annulaire; elle sera nulle lorsque cette dimension sera très petite, parce que les matières isolantes qui entourent l'anneau de fer, ainsi que le jeu matériel qui doit exister entre lui et les pièces polaires fixes, absorberont tout l'espace disponible et ne laisseront aucune place où l'on puisse loger le fil induit. Elle sera, sinon nulle, du moins très faible, lorsqu'on donnera à l'espace annulaire une dimension excessive. Il existe donc une dimension de cet espace annulaire qui correspond à l'efficacité la plus grande possible de la machine. Mais, avant de chercher la dimension la plus favorable, il faut définir cette efficacité. Si l'on se donne toutes les dimensions de la machine (excepté celle de l'espace annulaire), sa vitesse de rotation et la force électromotrice qu'elle doit produire, je dirai que son efficacité est maxima lorsque la résistance intérieure de l'anneau est un minimum.

Si l'on désigne par x la dimension de l'espace annulaire comptée dans le sens du rayon de l'anneau ; par a la valeur minima de l'espace accordé pour loger les matières isolantes qui couvrent le noyau de fer, pour le jeu indispensable au bon fonctionnement des pièces, pour le cerclage de l'anneau, en un mot, pour toutes les matières *autres que le cuivre* conducteur du courant enroulé autour de l'anneau induit, cet es-

pace étant également compté dans le sens du rayon; par H l'intensité du champ, je démontre facilement que la résistance intérieure de la machine est un minimum lorsque la fonction $H^2(x-a)$ est un maximum.

Or, les expériences que j'ai citées plus haut permettent de constater que ce maximum a lieu pour des valeurs de x beaucoup plus grandes qu'on ne le croit généralement. Ces résultats n'ont fait d'ailleurs que confirmer ceux que j'avais obtenus, il y a dix-huit mois environ, sur des machines Gramme, dans lesquelles j'avais fait diminuer de plus en plus l'espace annulaire. L'intensité du champ magnétique augmentait incontestablement, mais la machine devenait très nettement d'autant plus mauvaise que l'espace annulaire était plus petit.

Dans les machines à haute tension, telles que celles que j'ai construites pour l'expérience de Creil, la valeur de la constante a est beaucoup plus grande que dans les machines à basse tension, parce qu'elles exigent une isolation bien autrement considérable.

Il en résulte que la fonction $H^2(x-a)$ n'atteint son maximum que pour des valeurs de x bien plus grande que si a était petit. C'est la raison pour laquelle j'ai été obligé de donner à l'espace annulaire une si grande valeur dans les machines de Creil : on s'en rendra aisément compte lorsqu'on saura que la distance de la partie extérieure du fil induit de l'anneau aux pièces polaires atteignait par places $0^m,010$ et que l'épaisseur de la couche isolante interposée entre le noyau de fer et la première couche de fil induit de $0^m,0075$; cela faisait donc un espace de $0^m,0175$ entièrement perdu pour l'effet utile de la machine, de sorte que, si je n'avais donné à l'intervalle annulaire que $0^m,020$ par exemple, il ne serait resté pour le fil induit que $0^m,0025$, c'est-à-dire de quoi loger une seule couche de fil : la machine n'aurait pas produit la huitième partie de la force électromotrice exigée.

Influence des dimensions perpendiculaires aux lignes de force. — J'ai fait peu d'expériences à cet égard, mais j'ai pu constater que, à moins que les pièces polaires ne soient très épaisses dans le sens des lignes de force, l'intensité du champ

est sensiblement en raison inverse de la surface développée des épanouissements comptée perpendiculairement aux lignes de force.

Avec des électros dont le noyau avait 200 millimètres de diamètre, le champ magnétique compris entre des pôles de nom contraire a atteint la valeur de 15.400 unités C. G. S., lorsque les pièces polaires de forme carrée avaient 200 mètres de côté et étaient séparées par un intervalle de 3 millimètres; il était encore de 11.400 unités lorsque l'écart atteignait 20 millimètres. Le travail électrique dépensé collectivement dans les hélices des deux électros atteignait 9 chevaux.

J'ai démontré, il y a plusieurs années, que les électro-aimants à gros noyau étaient très supérieurs à un ensemble de petits électros d'un poids collectif égal au point de vue de l'intensité absolue du champ qu'ils permettent de produire et de son volume, ainsi que de la quantité d'énergie qu'il faut dépenser dans leurs hélices pour la production de ce champ. Le premier, j'ai construit des électros très gros et très courts (expériences des ateliers du chemin de fer du Nord en février 1883), au lieu d'employer des électro-aimants de petit diamètre, longs et nombreux, comme on l'avait fait dans la machine d'Edison qui figurait à l'exposition de 1881. Mon exemple a été suivi avec un plein succès, et le champ magnétique des machines Edison, que l'on a construit depuis, a été considérablement amélioré uniquement en diminuant la longueur des électros et en grossissant leur noyau.

Je pense que, si l'on construisait des électros d'un diamètre de 300 millimètres de noyau, au lieu de 200 millimètres, comme ceux que je viens de citer, il serait possible d'atteindre, pour l'intensité du champ compris dans un parallélipipède de 300 millimètres de côté et de 5 millimètres de hauteur, une intensité de 20.000 unités en plaçant en regard deux électros aimantés en sens contraire animés par le même courant.

(*Comptes rendus*, 26 *octobre* 1886.)

Sur la variation du champ magnétique produit par un électro-aimant.

Note de M. Leduc, présentée par M. Lippmann.

Dans sa Note du 26 octobre dernier, M. Marcel Deprez confirme une partie des conclusions que j'ai communiquées à la Société de Physique, le 19 février 1886. Toutefois les résultats que nous avons obtenus présentent des différences numériques notables, qui peuvent tenir aux conditions différentes dans lesquelles les expériences ont été faites.

J'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie la méthode que j'ai employée (voir *Comptes rendus*, séance du 28 juillet 1884).

J'ai étudié tout particulièrement un électro-aimant de Faraday dont les noyaux ont un diamètre extérieur de $0^m,16$, un diamètre intérieur de $0^m,04$ et une largeur de $0^m,28$. Les noyaux sont recouverts de vingt-sept tours par centimètre de longueur d'un fil de cuivre de $0^m,003$ de diamètre (à nu). J'ai adapté à cet appareil des pièces polaires de masse et de forme variées. Les nombres ci-dessous ont été obtenus avec des pièces de $0^m,07$ de diamètre et $0^m,023$ d'épaisseur.

J'ai constaté que la cavité cylindrique des noyaux (qui permet de faire les expériences sur la polarisation de la lumière) n'a pas d'influence sur le champ produit entre les pièces polaires; on n'altère aucunement la valeur de ce champ en remplissant de fer cette cavité.

Dans le Tableau ci-dessous, qui est à double entrée, la colonne verticale de gauche indique la distance des pièces polaires, et la rangée horizontale supérieure le courant qui passe dans les hélices magnétisantes. Les nombres situés dans le corps du Tableau mesurent, en unités C.G.S., l'intensité magnétique observée au milieu du champ.

	C.				
	2 amp.	4 amp.	8 amp.	16 amp.	32 amp.
0,0025	9060	13400	16930	19400	21100
0,005.	5400	9200	12960	16130	18800
0,01.	2780	5460	8440	12200	15830
0,02.	1430	2820	4800	7320	10930
0,04.	750	1500	2750	4200	6500
0,08.	360	720	1370	2140	3400

Tant que la distance des armatures ne dépasse pas 0,20, on peut considérer comme absolument uniforme la proportion du champ comprise dans l'intérieur de deux troncs de cône ayant pour grandes bases les pièces polaires et pour petite base commune un cercle de $0^{m},03$ ou même $0^{m},04$ de diamètre placé au milieu du champ, perpendiculairement à l'axe de l'appareil. Il n'en est plus de même lorsqu'on augmente la distance des armatures, de sorte qu'il y aurait lieu, pour faire des comparaisons utiles, de majorer de 1 à 2 p. 100 les nombres de la cinquième rangée et de 8 à 12 p. 100 ceux de la dernière.

Quoi qu'il en soit, il est bien vrai que, si l'on considère un champ très intense, *ce champ décroît beaucoup moins vite que ne croît l'écart des pièces polaires.*

On voit en effet qu'un champ de 21.100 n'a pas été réduit de moitié lorsqu'on a multiplié par 8 la distance des armatures, mais on voit aussi que, si le champ ne dépasse pas 6.000 C.G.S. par exemple, on ne commet pas une erreur énorme en admettant qu'il diminue en raison inverse de la distance des surfaces magnétiques. Ainsi un champ de 5.400 se réduit à 1.430, lorsque l'on quadruple cette distance, tandis qu'il aurait dû descendre à 1.350, d'après la loi grossière ci-dessus.

Il est clair que les résultats obtenus peuvent varier énormément suivant la nature du champ magnétique. Il n'est pourtant pas sans intérêt de remarquer dans le Tableau ci-dessus que, pour produire un champ de valeur invariable en modifiant la distance des pièces polaires, il faut faire augmenter l'intensité du courant plus vite que cette distance. Il en résulte que, si l'on se donne à l'avance l'intensité du champ que l'on veut produire, il y a avantage d'une manière générale à rapprocher les armatures. Il est clair que, en ce qui concerne les machines

dynamo-électriques, il y a lieu de tenir compte de l'espace perdu pour l'isolement de l'induit.

Si l'on ne fait passer que dans l'une des hélices de l'électro-aimant un certain courant, le champ produit a la même valeur que si l'on faisait passer à la fois dans les deux hélices un courant deux fois moindre. Les observations faites plus haut s'appliquent donc à ce cas.

J'ai observé aussi qu'il est avantageux de réduire l'épaisseur des pièces polaires, et que plus celles-ci sont épaisses, moindre est la variation du champ pour un même changement dans l'intensité du courant ou dans la distance des surfaces magnétiques.

(*Comptes rendus*, 15 novembre 1885.)

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1887 **Mars-Avril**

RELATION DES OPÉRATIONS EFFECTUÉES EN 1880-1881 POUR LA RÉPARATION DU CABLE MARSEILLE-ALGER DE 1871

(Suite.)

Le 1er décembre, à deux heures du matin, *la Charente* fit route sur la bouée n° 1_1 qu'elle trouva sans difficulté ; elle immergea la bouée n° 2_1 par 790 brasses d'eau en un point plus voisin du lieu de nos opérations. La première bouée se trouvait, en effet, déjà dans l'ouest du gisement présumé du câble, tandis que sa position vraie, reconnue le 29 novembre, passait à 2 milles environ dans l'est du tracé supposé, au point où le câble avait été saisi. Elle se porta ensuite à 4 milles dans l'est de cette bouée et commença le dragage n° 3. La sonde accusa 860 brasses d'eau avec un fond d'argile grise à gros grains. Vers trois heures et demie du soir,

le dynamomètre indiqua une tension assez constante de 3.800 kilogrammes; le navire devant se trouver dans le voisinage du câble, la drague fut relevée. Mais après le passage du quatrième maillon, la tension faiblit sensiblement; on réimmergea les filins déjà relevés et le draguage fut repris et continué jusqu'à huit heures du soir. Le navire se trouvait alors à 2 milles dans l'ouest de la bouée n° 2_1 et avait, par conséquent, largement dépassé le tracé du câble; il stoppa et resta mouillé sur la drague pendant la nuit.

Le 2 décembre, *la Charente* se porta à 3 milles dans le sud de la bouée et à 4 milles environ à l'est du tracé du câble et commença vers midi le dragage n° 4. La brise ayant fraîchi du nord-ouest vers deux heures et demie du soir, le navire dut redresser sa route vers le nord et augmenter sa vitesse. A sept heures quarante-cinq du soir l'opération fut arrêtée; la tension moyenne du dynamomètre avait été de 3.300 kilogrammes. Le grappin remonta à bord souillé seulement de plaques rouges, indice d'un terrain très dur.

Dans la nuit, *la Charente* alla reconnaître le feu de Planier, pour retrouver plus facilement les bouées. La mer était houleuse le matin, avec brise du nord assez fraîche; le navire resta en panne jusqu'à deux heures du soir. Un fanal fut porté sur la bouée n° 2_1 pour servir de guide pendant la nuit et à trois heures et demie on commença le dragage n° 5, dirigé de manière à faire passer le navire dans les environs du point où le câble avait été saisi une première fois. A cinq heures du soir, le dynamomètre monta successivement à 3.400 kilogrammes puis à 4.000 kilogrammes; la drague fut relevée. A six heures trente-cinq du soir, la tension était de 4.600 kilogrammes et il ne restait

que 300 brasses de filins à la mer ; le câble se trouvait sûrement sur le grappin.

A sept heures trente du soir, il arriva en effet à bord en double marquant 4.800 kilogrammes de tension au dynamomètre. On n'obtint de réponse ni du Prado ni d'Hussein-Dey ; la mesure de la résistance du câble donna, du côté d'Alger 57^{ω}, du côté de Marseille 360^{ω}.

Le câble du côté d'Alger devait par suite se trouver cassé en un point extrêmement rapproché du navire ; le bout en fut frappé sur la bouée n° 4_1. Le bout côté de Marseille resta à bord pour être relevé jusqu'à ce que l'on eût dépassé la faute. L'opération commencée le 4 décembre à minuit et demie se poursuivit sans incident jusqu'au matin ; le câble montait à bord en bon état, recouvert de son enveloppe goudronnée, bien que celle-ci tombât en lambeaux en passant sur la première poulie du gaillard d'avant.

A sept heures du matin, on en avait relevé $5^{\text{milles}},1$ lorsqu'une coque passa sur le tambour. Le câble fut aussitôt coupé et essayé avec Marseille ; la communication fut splendide au morse, tandis que pendant la nuit on ne pouvait obtenir aucun signal aux appareils à miroir qui sont bien plus sensibles ; la très petite distance qui séparait le navire de la faute explique parfaitement cette circonstance.

L'isolement du câble entre le navire et le Prado fut trouvé de 225 Ω par mille et la résistance du cuivre de 510^{ω} ; le navire se trouvait donc à $46^{\text{milles}},7$ du Prado, distance comptée sur le câble, et, en tenant compte du mou du câble, à $30^{\text{milles}},9$ du Prado, distance comptée sur la carte, ce qui conduit à la latitude de $42°41'$ environ. Ce résultat concordait

parfaitement avec les relèvements portés sur notre carte de dragage (Pl. 2).

Les filins de bouée manquant à bord, le câble fut frappé directement sur la bouée n° 3_1 et *la Charente* alla relever la bouée de marque n° 2_1 dont les filins devaient être reportés sur la bouée n° 3_1, de manière à laisser le câble reposer, sans fatigue, au fond de la mer. Mais un vent du nord-ouest frais s'étant levé et ayant soulevé très rapidement une grosse houle, nous dûmes renoncer temporairement à cette opération et rentrer à Marseille.

Un phénomène assez curieux fut observé à ce moment à la guérite du Prado. Le spot lumineux de l'appareil à miroir placé sur le câble, au lieu de conserver une position à peu près fixe, oscillait régulièrement à droite et à gauche de sa position d'équilibre qu'il dépassait d'une dizaine de divisions en moyenne de chaque côté. M. Chastenet de Préfort qui veillait l'appareil à la guérite, remarqua que l'amplitude des oscillations paraissait augmenter et diminuer avec l'agitation de la mer. J'attribuai ce phénomène aux courants induits que faisait naître le déplacement, dans le champ magnétique de la terre, de la partie du câble qui était suspendue dans la mer; le mouvement de la bouée à laquelle le câble était rattaché à une trentaine de mètres au-dessous du niveau de la mer, variant avec l'intensité de la houle, les oscillations du câble et, par suite, l'intensité des courants induits, devaient varier dans le même sens.

M. Chastenet de Préfort avait remarqué, en outre, des tressaillements du spot lumineux précédant de longtemps chaque fois les attaques de *la Charente*,

lorsqu'elle avait saisi le câble. Le phénomène me paraît devoir être expliqué comme le précédent et devait se produire pendant tout le temps que durait l'opération de relèvement du câble, laquelle se prolongeait parfois pendant plusieurs heures.

L'idée de courants thermoélectriques qui seraient engendrés dans le câble traversant, pendant le relèvement des couches d'eau de plus en plus chaudes, ne me parait pas admissible; on sait en effet, d'après les observations du docteur Carpenter, rapportées par M. Myville Thomson, dans son ouvrage *The depths of the sea*, que les eaux de la Méditerranée, à la profondeur de 100 brasses, atteignent la température de 55°,5 F. (environ 12°,75 C.), qui reste constante dans toutes les couches suivantes, à quelque profondeur qu'elles soient placées. Nous ajouterons que les lois qui régissent la température des eaux à diverses profondeurs dans les autres mers sont absolument différentes; dans l'Océan Atlantique, au-dessus du grand plateau télégraphique qui s'étend entre l'Irlande et Terre-Neuve, les couches d'eau comprises entre 1.000 et 2.000 brasses sont à la température de 2 à 3° C.; dans la baie de Biscaye, à 2.500 brasses, la température est de 2° C.; près des îles Féroé on trouve la température de —0°,8 C. à 622 brasses et celle de + 5°9 C. à 767 brasses de profondeur. L'eau de mer, comme on sait, ne se congèle qu'à la température de —3°,67 C., qui est aussi celle de son maximum de densité.

Les 5, 6 et 7 décembre, *la Charente*, retenue à Marseille par le mauvais temps, renouvela ses approvisionnements de charbon et le 8 reprit la mer. Le navire se dirigea immédiatement sur la bouée n° 3_1 à

laquelle le câble était directement attaché, vérifia l'état électrique de celui-ci et l'ayant trouvé dans les conditions normales, réimmergea le câble en l'amarrant solidement à une chaîne munie d'un champignon et à des filins de bouée se terminant à la bouée n° 3_2. Sa position fut relevée par des observations astronomiques et rattachée au compas à la position de la bouée n° 1_1.

A quatre heures du soir, le navire releva la bouée n° 4_1 et le bout de câble, côté d'Alger auquel elle avait été liée dans la soirée du 3 décembre. Ce bout n'avait que 233 brasses de long; le câble était cassé sur une coque. Immédiatement après on immergea la bouée n° 2_2 pour marquer la position du bout du câble du côté d'Alger; le lendemain matin, les trois bouées n°s 1_1, 2_2 et 3_2 furent rattachées les unes aux autres par une triangulation. La mer ayant grossi, le navire resta à la cape près des bouées pendant quelques heures; enfin vers midi le nord-ouest commençant à souffler grand frais, *la Charente* rentra à Marseille où elle fut retenue jusqu'au 16 décembre.

Durant ce temps, on rechercha le point précis de la faute sur la section de $5^{\text{milles}},1$ qui avait été relevée dans la nuit du 3 au 4 décembre. On la trouva à $1^{\text{mille}},1/4$ du bout relevé côté de Marseille; sur une longueur de 150 mètres environ, la gutta-percha était couverte de morsures vermiculaires dues manifestement à des tarets. En un de ces points, la perforation s'était étendue jusqu'au conducteur en cuivre que l'on apercevait très distinctement à la loupe.

Si l'on ajoute la longueur du câble restant à la mer, à partir du Prado, soit $46^{\text{milles}},7$ à cette longueur de $1^{\text{mille}},25$, on trouve que la faute était à une distance

de 47^{milles},95 de Marseille, soit exactement celle que nous avions trouvée dans nos expériences.

La résistance de la faute, mesurée directement, fut trouvée égale à 145$^{\omega}$.

Le 11 décembre, on reconnut au ***Prado*** que le courant de retour du câble avait disparu : sa résistance n'était plus que de 590$^{\omega}$. Il était fort à craindre que sous l'action incessante de la tempête, une nouvelle avarie ne fût arrivée à l'extrémité du câble attaché à la bouée n° 3_2, que tout le travail déjà fait ne fût absolument perdu et que tout ne dût être recommencé.

En même temps, pour parer aux pertes de matériel déjà subies et à celles que l'on devait prévoir encore, un marché était passé avec la Compagnie « India rubber, Guttapercha and Telegraph Works » de Londres, pour la fourniture de :

1° 1.000 brasses de filins de dragues composés de douze torons cordés ensemble trois par trois, chaque toron comprenant trois fils d'acier de 2^{mm},5 entourés séparément de chanvre de Russie (diamètre extérieur du filin, 43 millimètres; poids par mètre dans l'air, 2^{k},370; dans l'eau, 1^{k},404);

2° 600 brasses de filins de dragues composés de six torons de six fils du meilleur acier (Pl. V, *fig.* 6), entourés chacun séparément de chanvre de Marseille;

3° 16 maillons de jonction susceptibles de résister, comme les filins de dragues, à une traction de 20 tonnes;

Enfin 4° 2.000 brasses de filins de bouées (Pl. V, *fig.* 7) composés de quatre torons de quatre fils d'acier entourés chacun séparément de chanvre de Manille et susceptibles de résister à une traction de 11 tonnes avec 20 maillons de jonction de même force.

Les pattes de la plus grande chatte furent en outre

allongées et le poids du grappin doublé par une culotte de plomb qu'on ajouta à la base pour lui permettre de s'enfoncer plus profondément dans la vase grise dure que l'on rencontrait dans la partie la plus méridionale du lieu où nous opérions. Le poids de ce grappin devint ainsi de 240 kilogrammes.

La mer s'étant calmée, la *Charente* repartit le 16 décembre et releva immédiatement la bouée n° 3_2 pour vérifier l'état du câble, du côté de Marseille. Au passage, sur le grand tambour de la machine de relèvement, du maillon qui reliait la chaîne de la bouée à la première pièce du filin de bouée, l'un des anneaux du maillon se brisa à la soudure et le filin échappa à la mer avec tout ce qui lui faisait suite.

A la perte du câble déjà si regrettable, venait encore s'ajouter celle d'un matériel dont nous avions le plus impérieux besoin.

En vérifiant l'état de la bouée n° 3_2, on constata qu'un bout de chaîne, qui avait été attaché à la chaîne de sûreté de la bouée, le 8 décembre, pour la redresser, avait disparu ; la tête de la vis de la manille d'assemblage (Pl. IV, *fig.* 6), sous l'action de chocs contre la bouée, dus à la houle et indéfiniment répétés, s'était dévissée et avait permis à la chaîne de tomber à la mer. D'un autre côté, les bouées cylindriques formaient une sorte de tore (Pl. IV, *fig.* 10) à l'intérieur duquel passait la chaîne qui devait supporter tout l'effort de la traction des filins. Cette chaîne était accrochée à l'un des verroux disposés sur la face extérieure de la bouée. Deux anneaux de la chaîne qui portaient sur la partie courbe de la bouée furent trouvés entièrement rongés par leur ragage contre des têtes de rivets de la tôle. Nul doute que si la tempête s'était prolongée encore pen-

dant un peu de temps, l'un de ces anneaux n'eût cédé et la bouée se fût trouvée entièrement libre.

Deux dragages (n°s 6 et 7, Pl. II) furent faits dans la journée pour retrouver le câble, côté de Marseille, mais sans aucun succès. La *Charente* resta mouillée sur le grappin pendant la nuit : relevé le lendemain matin, il rapporta de la vase jaune assez molle.

Le 17 décembre, au matin, le navire alla reconnaître les bouées 1_1 et 2_2, mais ne retrouva pas cette dernière. On alla draguer ensuite dans le sud par 1.005 brasses de profondeur, sur un fond d'argile grise très compacte ; l'opération fut arrêtée à 6 heures du soir. Un filet avait été attaché à la suite du grappin pour ramasser les animaux et végétaux qu'il pourrait rencontrer sur le fond. Le filet revint entortillé autour de la chatte et sans rien rapporter.

La *Charente* remonta de quelques milles dans le nord, et à 8 heures du soir commença un nouveau dragage (n° 9). A 11^h 35^m, le travail fut arrêté et le navire resta mouillé sur le grappin. L'éloignement de la bouée n° 1_1 a rendu les travaux de cette journée très incertains : les lignes de drague n'ont pu être tracées qu'approximativement, et ainsi qu'on le voit (Pl. II), pour la seconde de ces opérations, il est probable que le navire, entraîné par les courants qui portaient à l'est, n'avait pas traversé la ligne du câble.

Le 18 décembre, au matin, la mer était calme, mais de gros nuages noirs couvraient le ciel, la brise soufflait faiblement du nord-ouest. Après avoir relevé la drague, la *Charente* chercha la bouée n° 1_1 qu'elle ne trouva qu'à midi. La brise fraîchissant et ne permettant pas de commencer les travaux, on chercha de nouveau sans résultat la bouée n° 2_2. A la nuit, le na-

vire rallia le feu de Planier. La houle étant encore très forte le lendemain matin, le navire rentra dans l'avant-port de Marseille.

Le 20 décembre, à 2 heures du matin, la *Charente* repartit faisant route sur la bouée n° 1_1, qu'elle aperçut à $8^h 30^m$ du matin; elle se dirigea ensuite sur le point où le câble avait été saisi, le 28 novembre, pour y mouiller une nouvelle bouée de position, en remplacement de la bouée n° 2_2 disparue. La position de cette bouée n° 3_3 fut rattachée ensuite à la bouée n° 1_1 par un relèvement au compas et par une mesure approximative de la distance qui la séparait : sa latitude put être mesurée directement par l'observation du soleil à midi.

Cette latitude qui devait être de 42°37′ environ n'était que de 42°34′35″; la bouée n° 3_3 se trouvait ainsi mouillée en un point assez éloigné de celui où nous avions eu l'intention de la placer. L'erreur ne pouvait être imputée qu'à un déplacement de la bouée n° 1_1 qui devait avoir chassé sur son champignon et être descendue de plus de 2 milles dans le sud-sud-est de sa première position.

Nous avons figuré sur la carte de détail n° 1 (Pl. II), en pointillé, la position présumée de la bouée n° 1_1 à ce moment. Un dragage, commencé à 3 heures, dut être interrompu à 6 heures du soir, la tension du filin, sous l'action des mouvements de roulis et de tangage du navire, dus à une forte houle, montant parfois jusqu'à 5 tonnes pour retomber à zéro un instant après. Or, il convenait d'éviter un accident avec d'autant plus de soin que, par suite des pertes que nous avions déjà subies, le matériel de dragues se trouvait sensiblement réduit et pouvait, si de nouvelles pertes survenaient

avant qu'il ne fût complété à nouveau, nécessiter une suspension de nos travaux.

Le 21 décembre, au matin, le nord-ouest soufflant très frais et la mer étant très grosse, la *Charente* rentra à Marseille où elle séjourna jusqu'au 27.

Dans la matinée de ce jour, la *Charente* n'ayant pas trouvé la bouée n° 1_1, qui avait déjà chassé une première fois, poursuivit sa route dans le sud et finit par la rencontrer, chavirée, à 13 milles de distance de sa position originaire. L'un des anneaux de la chaîne qui la reliait aux filins était cassé, de telle sorte qu'elle n'était plus retenue que par la chaîne de sûreté; les émerillons des maillons de jonction n'ayant pu jouer assez librement, une coque s'était formée sur le filin, dans le fond, à quelques mètres de la chaîne qui portait le champignon et le filin s'était rompu en ce point, laissant la bouée s'en aller à la dérive. La position de la bouée n° 3_3 fut vérifiée et à 4 heures du soir on y porta un fanal pour permettre au navire de la suivre pendant la nuit. Le dragage n° 10 se poursuivit jusqu'à 3 heures du matin sans incident. Au jour, le grappin fut relevé et rapporta un peu de vase jaune ; l'une des patte portait quelques traces de ragage.

Un nouveau dragage (n° 11) fut commencé immédiatement après, à 2^{milles},5 environ au nord-nord-ouest de la bouée n° 3_3 ; l'opération fut arrêtée à deux heures du soir, par suite d'une grosse houle du sud-est. Le navire se dirigea à petite vitesse vers Planier. Le 29, la brise ayant encore fraîchi, on dut rentrer à Marseille où le mauvais temps retint le navire jusqu'au 7 janvier 1881.

Dans l'intervalle arrivèrent les filins de bouées et de dragues commandés en Angleterre. Ces filins, es-

sayés avec les maillons correspondants se rompirent, les premiers sous un effort de 8^{tonnes},5, les seconds sous un effort de 19 tonnes.

La *Charente* appareilla de nouveau le 7 janvier, à une heure du matin. Arrivée au large, elle rencontra une forte houle et fut prise dans un grain du sud-est, accompagné de pluie, de grêle et d'éclairs, qui l'obligea à rentrer de nouveau dans le port.

Le temps étant revenu au calme, la *Charente* prit la mer dans la nuit du 10 janvier. Toute la journée se passa à chercher la bouée n° 3_3, dans un rayon de 15 milles autour du point où elle avait été mouillée. Toutes les recherches restèrent infructueuses ; le dernier repère qui restât pour guider nos travaux avait disparu.

Le 11 au matin, la mer étant trop agitée encore pour qu'aucune opération pût être tentée, les recherches de la bouée furent continuées, mais sans aucun succès.

Le 12 janvier, dans la matinée, on mouilla la bouée n° 4_2 par 1.030 brasses d'eau, dans les environs du point où devait se trouver la bouée n° 3_3 ; les observations de midi montrèrent qu'elle avait été immergée à 4 milles au sud-ouest de l'ancienne position de cette bouée. La sonde rapporta une vase jaune assez compacte, mélangée de grosses coquilles brisées. Le navire remonta à 4 milles environ dans le nord-est de la bouée et fit route en draguant vers l'ouest ; le grand grappin avait été mouillé. A huit heures du soir, le dynamomètre s'éleva à 4.000 kilogrammes ; la tension monta même un instant jusqu'à 4.400 kilogrammes, lorsqu'on commença à relever la drague ; mais la chatte en arrivant à bord ne rapporta qu'un mélange

de deux vases grise et jaune, toutes les deux très dures.

Le temps étant favorable, un nouveau dragage (n° 13) fut commencé à onze heures du soir. A une heure quinze du matin, le dynamomètre indiqua de nouveau une tension de 4.200 kilogrammes due encore à la nature du terrain dans lequel s'enfonçait le grappin.

Lorsque le jour parut, le navire était enveloppé d'une brume épaisse, qui tombait en pluie très fine et rendait tout travail impossible. Vers midi, nous prenions les dispositions nécessaires pour relever la bouée et la porter en un point plus rapproché de nos premières opérations et plus favorable aux dragâges, lorsque la brise fraîchit avec une telle rapidité qu'il devint impossible de mettre une embarcation à la mer. Le navire eut de la peine lui-même à étaler le vent et dut rentrer à Marseille.

Ce coup de vent, qui fit déferler la mer par-dessus la jetée, jusqu'à l'intérieur des bassins de la Joliette, se prolongea avec des intermittences diverses jusqu'au 28 janvier.

L'état de la mer ne me permettant pas de conserver l'espoir de retrouver la bouée n° 4_2 et les bouées disponibles devant ainsi, selon toutes probabilités, se trouver réduites à deux, nombre qui pourrait être considéré à la rigueur comme suffisant dans la belle saison, mais ne laissait actuellement aucune marge à l'imprévu; les journées de travail, depuis le 9 décembre, s'espaçant de plus en plus et devant, par suite des mauvais temps presque continuels, être consacrées en grande partie à la réparation des dégâts occasionnés par la mer dans l'intervalle; un nouvel accident sem-

blable à celui survenu dans la nuit du 28 au 29 novembre, s'il se produisait, devant avoir pour effet de m'obliger à reporter mes opérations de plus en plus dans le sud où, à une plus grande profondeur d'eau, venait se joindre une nature de terrain particulièrement difficile; les observations astronomiques enfin, destinées à donner une base sûre à nos travaux, devenant, dans cette saison, de plus en plus rares et incertaines et augmentant encore ainsi le danger que pouvait courir le câble de 1879; il me parut qu'il était préférable de renoncer temporairement à tout travail à la mer. Je proposai, en conséquence, de suspendre l'opération, qui ne serait reprise qu'à la belle saison, en profitant de l'intervalle de temps pour compléter et perfectionner l'outillage de la *Charente*.

Ces vues ayant été adoptées, la *Charente* attendit une embellie pour rechercher et relever, si elle n'avait pas disparu, la bouée n° 4_2. Sortie une première fois le 23 janvier, la *Charente* essuya, à 20 milles de Planier, un coup de vent de nord-ouest qui emporta son foc, et ne lui permit pas de regagner Marseille; elle dut chercher un refuge à la Ciotat.

Une nouvelle sortie le 24 ne fut pas plus heureuse; et la *Charente* dut virer de bord au large de Planier et rentrer à Marseille.

C'est le 28 janvier seulement que l'état de la mer permit d'entreprendre quelques recherches qui restèrent d'ailleurs, ainsi qu'il était aisé de le prévoir, sans résultat. La *Charente* se dirigea en conséquence sur Toulon.

Après avoir pris connaissance de la situation, l'Administration s'empressa de mettre à ma disposition tous les crédits nécessaires pour me permettre de

reprendre les travaux dans des conditions meilleures. Elle me chargea en même temps de me rendre successivement à Londres et à Toulon pour y commander et surveiller, d'une part, la fabrication de tous les engins nouveaux dont j'avais besoin, bouées, filins, chaînes, champignons, sondes, etc., et, d'autre part donner aux ingénieurs du port de Toulon les indications nécessaires pour la pose d'une seconde roue sur le gaillard d'avant de la *Charente*. Tous ces travaux devaient être poussés avec la plus grande activité, de manière que la *Charente* fût prête à prendre la mer aux premiers beaux jours.

Le matériel perdu comprenait : 6 champignons, 9 maillons de chaînes de 30 mètres de longueur chacun, 1.100 brasses de filins de dragues, 3.050 brasses de filins de bouées, 23 maillons de jonction pour filins de dragues et de bouées, 2 fanaux, 1.000 brasses de fil de piano pour sondages, 1 plomb de soude et 3 bouées. Les bouées, qui étaient parties à la dérive, furent recueillies successivement en divers points de la côte méditerranéenne et rapatriées sans difficultés.

Pour mettre la *Charente* en état d'entreprendre une nouvelle campagne, l'*India Rubber*, *Gutta-percha and Telegraph Works C°*, de Londres, se chargea de confectionner :

1° 2.600 brasses de filins de bouées, divisés en douze longueurs de 200 brasses et en deux longueurs de 100 brasses. Ces filins (Pl. V, *fig.* 7) devaient être composés de quatre torons formés chacun de quatre fils d'acier de qualité supérieure de $2^{mm},5$ de diamètre et entourés séparément de chanvre de Manille goudronné. Chaque pièce de filin devait être garnie à ses extrémités

d'une cosse et d'un anneau (Pl. V, *fig.* 3) susceptibles de résister, comme le filin lui-même, à une traction de 10 tonnes. Le diamètre extérieur de ce filin devait être de 33 millimètres, son poids, par mètre, dans l'air, $1^k,080$, et dans l'eau, $0^k,564$;

2° 12·000 brasses de fil d'acier pour machine à sonder, de sir W. Thomson :

3° Trois bouées en tôle d'acier galvanisée de 4 millimètres d'épaisseur (Pl. I, *fig.* 8), terminées haut et bas par deux bases plates et renflées dans la partie intermédiaire. Chaque bouée était divisée intermédiairement en deux compartiments étanches par une cloison en tôle ; cette cloison et la petite base étaient percées de trous d'homme munis d'un couvercle. Extérieurement chaque bouée devait porter, suivant son équateur, une défense en bois ; dans le plan de deux méridiens rectangulaires, et entre la petite base et l'équateur, quatre bouts de chaîne solidement fixés à la bouée et réunis entre eux par un cordage métallique ; dans un même plan diamétral, deux verrous destinés à recevoir les extrémités des chaînes d'amarrage et de sûreté ; dans une excavation pratiquée au centre de la grande base, un fort anneau en fer, mobile autour d'un axe horizontal et destiné à porter l'extrémité de la chaîne d'amarrage principale ; enfin au-dessus de la petite base un trépied terminé par une bague dans laquelle devait s'engager le mât de pavillon. Au point de vue de leur étanchéité, les bouées devaient pouvoir être remplies d'eau à la pression d'une atmosphère, sans donner aucune fuite apparente pendant vingt-quatre heures. Chacune d'elles était accompagnée d'une double chaîne d'amarrage en fer de 18 millimètres de diamètre susceptible de résister à une traction de 10 tonnes ; les

deux brins de la chaîne avaient respectivement 12 et 20 brasses de longueur. Le poids de chaque bouée devait être de 1.240 kilogrammes environ, celui des chaînes d'amarrage de 305 kilogrammes. Immergée à 1 mètre de la grande base, la bouée déplaçait un volume d'eau égal à 2.725 litres; sa force ascensionnelle était donc de 1.185 kilogrammes correspondant à 1.025 brasses de filins de bouée.

La maison Ed. Mourraille et Cie, de Toulon, soumissionna la fourniture de :

1° Huit champignons en fonte, à bords biseautés (Pl. II, *fig.* 3) avec tiges et anneaux mobiles en fer forgé, dont quatre du poids de 200 kilogrammes et quatre du poids de 250 kilogrammes. Les bords de la cuvette de deux champignons du poids de 250 kilogrammes devaient présenter, venues de fonte, six pattes de forme triangulaire (Pl. IV, *fig.* 4), réparties également sur la circonférence, la pointe de ces pattes étant dirigée vers l'intérieur, de manière à faciliter l'entrée du champignon dans les terrains durs.

2° Deux grappins à draguer en fer forgé de $1^m,40$ de hauteur totale, terminés à leur partie supérieure par un gros anneau en fer mobile; un deuxième anneau devait se trouver en arrière du point de réunion des quatre pattes du grappin. Dans l'un des grappins (Pl. IV, *fig.* 1), les pattes devaient se raccorder à la base suivant une courbe arrondie; dans le second (Pl. IV, *fig.* 2), destiné à servir de grappin de retenue, les pattes devaient rencontrer la tige suivant un angle aigu. Le poids de chaque grappin devait être approximativement de 170 kilogrammes.

Un forgeron du Mourillon, près Toulon, se chargea de confectionner :



1° 300 mètres de chaînes en fer rond de 18 millimètres de diamètre, sans étais, divisés en dix pièces de 30 mètres de longueur chacune, chaque pièce étant terminée à ses deux extrémités par un anneau en fer assez large pour que l'on pût y introduire une manille d'assemblage et susceptible de résister comme la chaîne elle-même, à une traction de 7.110 kilogrammes ;

2° 300 mètres de chaînes en fer rond de 20 millimètres de diamètre, répondant à la même spécification que les précédents, mais résistant à une traction de 8.800 kilogrammes ;

3° Treize manilles à goupilles pour chaînes de 18 millimètres et vingt manilles semblables pour chaînes de 20 millimètres de même force que les chaînes correspondantes ;

4° Huit maillons de jonction pour filins de dragues en fer de 26 millimètres de diamètre, susceptibles de résister, sans aucune déformation, à une traction de 16 tonnes. Les tiges des émerillons devaient être faites en fer rond recourbé à la base, et être fraisées et rivées sur leurs bagues d'appui. Les têtes de vis (Pl. IV, *fig.* 9) des manilles d'assemblage (Pl. IV, *fig.* 7 et 8) devaient avoir la forme d'une calotte très aplatie et être percées d'une ouverture dans laquelle on engagerait une tige en fer pour les manœuvrer ; cette dernière disposition avait pour effet, d'une part, d'empêcher les manilles des bouées de se dévisser sous l'action de la houle et, d'autre part, de prévenir les accidents que l'on avait eu plusieurs fois à redouter au passage des maillons sur le tambour de la machine de relèvement. Tantôt, en effet, les têtes de ces vis venaient butter contre le couteau du tambour et arrêtaient brusquement le déroulement, tantôt elles saisissaient le filin du tour

qui les précédait et l'écrasaient sur une certaine longueur.

5° Vingt-quatre maillons de jonction pour filins de bouées en fer de 21 millimètres de diamètre, susceptibles de résister, sans se déformer, à une traction de 11 tonnes et construits sur le modèle des maillons de dragues.

6° Huit cosses avec anneaux en fer rond de 20 millimètres, résistant à un effort de 16 tonnes (Pl. V, *fig.* 3).

Douze manilles et douze maillons de jonction anciens existants à bord devaient, en outre, être modifiés, de manière à être conformes aux nouveaux types arrêtés.

Tout ce matériel ne devait être et ne fut reçu qu'après avoir été soumis intégralement à des épreuves de traction destinées à constater que sa résistance répondait bien à la spécification convenue.

La Marine militaire, à Toulon, se chargea d'installer au-dessus de l'étrave de la *Charente* une seconde roue montée sur le même axe que la première, pouvant tourner entre deux joues fixes bien arrondies pour empêcher le câble de porter sur des arêtes vives lorsqu'il se présenterait par le travers; le bord intérieur de ces joues devait en même temps s'emboîter exactement dans la roue pour que le câble ou des fils de fer cassés ne pussent venir s'engager dans l'intervalle resté libre entre ces joues et la roue, les accidents les plus graves pouvant résulter d'un ajustage qui ne serait pas absolument parfait. Ce travail, qui nécessita un remaniement complet du gaillard d'avant de la *Charente*, fut exécuté par M. Fliche, ingénieur de la marine.

On modifia en outre avantageusement la transmis-

sion de mouvement qui commandait la machine à sonder placée à l'arrière du navire et qui avait été installée précédemment, en cours de campagne, avec les seules ressources du bord, par M. Augustin, chef mécanicien de la *Charente*.

Le 14 juin 1881, tout le matériel étant embarqué et la mer belle, la résistance du câble mesurée au Prado ayant été trouvée d'environ 520^{ω}, nombre sensiblement égal à celui trouvé à la fin de la campagne d'hiver, ce qui me donnait l'assurance qu'aucune avarie nouvelle ne s'était produite dans l'intervalle, la *Charente* prit la mer à onze heures du soir.

Le 15, dans la matinée, elle fit quelques sondages dans les environs du point où devait se trouver le bout libre, côté d'Alger, sur lequel je désirais concentrer d'abord tous nos efforts. Une bouée (n° 1_2) destinée à marquer sa position fut immergée, bien repérée, et à cinq heures trente du soir, un dragage (n° 14) commence (Pl. II). Une brise faible du sud-sud-est presque perpendiculaire à la route que suivait la *Charente*, fit faire de grandes embardées au navire et l'opération ne donna aucun résultat. La *Charente* resta mouillée sur la drague pendant la nuit; le lendemain matin, le grappin rapportait une bonne vase jaune.

Le 16 juin, on fit les deux dragages n°s 15 et 16, le premier au nord, le second au sud de la bouée n° 1_2, sans que l'on aperçût aucun indice de la présence du câble sur le grappin. Celui-ci remonta avec de la vase jaune mélangée de grosses coquilles et quelques traces de vase grise compacte.

Le 17 juin, on mouilla la drague par 1.014 brasses de profondeur d'eau, sur un terrain formé de vase jaune foncé assez plastique, et on fit route à petite vi-

tesse à l'ouest du monde. A quatre heures vingt-cinq du soir, le navire, qui avait parcouru environ 7 milles, redressa sa route au nord-est pour croiser une deuxième fois la ligne du câble. Le dynamomètre indiquait en moyenne 3.400 kilogrammes; mais, à deux reprises différentes, et lorsque le navire était encore à l'ouest de la bouée, la tension s'éleva successivement jusqu'à 3.800 et même jusqu'à 4.000 kilogrammes. Enfin, à dix heures quinze, elle s'élevait à 4.400 kilogrammes et même 5.400 kilogrammes. La drague fut relevée, mais on ne tarda pas à s'apercevoir que le navire déviait à l'ouest-nord-ouest sous l'action d'une petite brise; à onze heures quarante-cinq, nous passions à une encâblure à peine de la bouée et à minuit quinze minutes, le grappin arrivait à bord avec une couche épaisse de vase grise très dure badigeonnée superficiellement de vase jaune molle.

Le 18 juin, on fit le matin le dragage n° 18 et, le soir, le dragage n° 19. Dans chacune de ces opérations, le dynamomètre s'éleva parfois jusqu'à 5.000 et même 5.400 kilogrammes de tension, mais pour retomber ensuite. A neuf heures quinze du soir cependant, le dynamomètre indiquait avec persistance une tension de 4.700 à 4.800 kilogrammes et le navire évitant à la brise, la drague fut relevée avec précaution. Mais la tension retomba dès que le grappin fut dérapé du fond et la chatte rapporta de gros paquets de vase grise dure et quelques plaques rouges sur les parties restées propres.

Le 19 juin, à huit heures trente du matin, on mouilla la drague par 980 brasses d'eau, sur un fond de vase jaune à gros grains. On dévira 1.080 brasses de filins, faisant suite à 60 mètres de chaîne et à un grappin de

125 kilogrammes et on fit route sensiblement au nord-nord-est. La tension était de 3.100 kilogrammes, sans variations sensibles. A deux heures quinze, la tension s'éleva progressivement à 3.500, puis 4.200 kilogrammes; le navire fut arrêté et on releva la drague dont la tension resta en moyenne à 4.400 kilogrammes. Enfin, à cinq heures dix du soir, le câble arriva en double sur la chatte; la tension n'était plus alors que de 3.600 kilogrammes. Le grappin était propre et ne rapporta qu'un peu de vase jaune dans la manille qui le reliait à la chaîne. L'enveloppe goudronnée manquait sur une quarantaine de mètres et formait bourrelet au delà, indiquant ainsi un glissement du câble dans le grappin, soit avant, soit pendant le relèvement.

Le câble fut hissé à bord, coupé et le côté d'Alger essayé : la résistance du cuivre fut trouvée de .5000$^{\omega}$ pour le courant positif, 4.700$^{\omega}$ pour le courant négatif, ce qui donnait, pour la longueur du conducteur, 445 milles marins, soit très sensiblement celle du point où se trouvait la *Charente* à Hussein-Dey. L'isolement de cette section était de 65 Ω par mille. La réception des signaux à Hussein-Dey fut d'abord difficile ; mais, à huit heures trente du soir, les communications devinrent faciles.

On fila à la mer une centaine de mètres de câble, côté de Marseille, frappé préalablement sur une bonne haussière et on en releva, vers Alger, la longueur nécessaire pour faire l'épissure de cette section sur le c ble neuf en réserve à bord. Le navire resta immobile ensuite dans sa position durant le restant de la nuit ; le temps était parfaitement calme.

Le 20 juin, à quatre heures quarante du matin, au

lieu de mouiller la bouée qui devait être frappée sur le bout du câble, côté de Marseille, de manière à ce que l'on pût venir le relever ultérieurement, craignant que cette opération, faite dans le voisinage immédiat du câble neuf, ne pût lui être préjudiciable et désirant ne pas lâcher le côté d'Alger, un temps admirable paraissant devoir favoriser l'immersion du câble neuf, je fis couper l'haussière de pitre qui retenait le côté de Marseille, lequel retomba ainsi libre à la mer. A quatre heures quarante-cinq, le navire se mit en marche, dévirant le câble à l'avant par la machine de relèvement. Cette machine ne pouvant dépasser une vitesse relativement assez faible, nous nous trouvions obligés de ralentir également la marche du navire et conséquemment de rendre sa route plus incertaine, dans le cas où la brise viendrait à se lever dans la journée. Mais on n'apercevait aucun indice d'un changement de temps prochain et les accidents survenus aux essais du mois d'octobre précédent me faisaient redouter l'emploi de la machine de pose sur des fonds d'environ 950 brasses. L'opération se poursuivit sans incident notable jusqu'à quatre heures vingt-cinq du soir; on se trouvait alors à une douzaine de milles au sud du feu de Planier. Le chemin parcouru par le navire avait été de 27^{milles},5, la longueur du câble déroulée de 31^{milles},2, d'où résulte pour le mou du câble une moyenne générale de 13,5 p. 100. La sonde accusa en ce point 290 brasses, fond de vase grise.

Le navire devait faire route droit au nord du monde, jusqu'au point d'intersection de cette ligne avec le tracé ancien du câble, lequel se trouve un peu à l'ouest de son lit réel. Mais une brise d'est qui se leva vers dix heures du matin et qui fraîchit assez rapidement, fit

dévier le navire sensiblement à l'ouest jusqu'au moment où des relèvements de la côte permirent de redresser sa route.

On aurait pu limiter la longueur de câble immergé à une douzaine de milles, de manière à ne le conduire qu'un peu au delà de la position de l'ancienne bouée n° 3_2 et draguer ensuite le bout libre du câble côté de Marseille, qui avait échappé aux amarres de cette bouée l'hiver précédent. Mais la brise ayant fraîchi sensiblement à partir de dix heures du matin, je craignis d'abandonner dans les grandes profondeurs, le bout du câble sur une bouée pendant le temps que durerait le dragage du bout côté de Marseille, temps qui ne pouvait être prévu à l'avance et durant lequel une de ces bourrasques qui nous avaient tant contrarié l'hiver précédent, pouvait se lever à l'improviste. Je me proposais, d'ailleurs, de relever la plus grande partie de l'ancien câble qui restait sans emploi ; si le câble était bon, il serait facile de l'utiliser et la perte de matériel dans ce cas serait minime; s'il était en mauvais état, je ne pourrais que me féliciter de l'avoir remplacé.

A six heures du soir le câble fut en conséquence relié à la bouée n° 3_4 par l'intermédiaire ordinaire de chaînes, champignons, filins de drague et de bouée et la bouée mise à l'eau. Sa position fut déterminée à l'aide de relèvements de la côte qui est très accidentée. Le repérage ainsi obtenu est d'une très grande précision.

L'isolement du câble pendant l'immersion, resta sensiblement constant et égal à 70Ω par mille.

Le 21 juin, la mer étant trop houleuse, la *Charente* se borna à aller reconnaître la bouée n° 3_4, sans

pouvoir faire aucune observation et rentra à Marseille.

Le 23 juin, le temps étant redevenu beau, on releva la bouée n° 1_2, et on remonta vers le nord en prenant quelques sondages.

Le 24, on mouilla une bouée de position à 2 milles environ dans l'ouest de la bouée n° 3_4, afin de limiter du côté du câble de Barcelone les dragages qui nous restaient à faire pour saisir le câble de 1871, côté de Marseille ; les relèvements du phare de Planier devaient suffire du côté Est pour préserver de tout danger le câble Alger-Marseille de 1879. On commença ensuite une série de dragages n°s 21 à 27, qui furent rendus très difficiles, d'une part, par l'inégalité brusque des fonds qui à moins d'un mille de distance, variaient parfois de plus de 300 brasses, et, d'autre part, par la nature du terrain, qui était rocailleux en certains points, et formé tantôt de vase jaune, tantôt de vase grise très gluante. Plusieurs fois le grappin remonta à bord avec des pattes redressées par sa rencontre avec des roches. Enfin, le 25 juin, vers quatre heures du soir, après avoir dragué sur un fond de sable vaseux, par 60 brasses de profondeur à peine, la *Charente* releva le câble d'atterrissement qui monta à bord très tendu. La communication ayant été reconnue bonne avec le Prado, on mesura la résistance du cuivre qui donna 172^{ω} correspondant à environ 15^{milles},6 de câble et son isolement qui fut trouvé de 185 Ω par mille. Deux bouées furent frappées sur les deux bouts de câble.

Le 26 juin, le vent soufflant du nord-ouest frais, la *Charente* releva d'abord sa dernière bouée de position ; le champignon rapporta de la vase mélangée de coquilles vides et de gros galets roulés. Elle commença

ensuite le relevage du bout du câble libre à la mer. 0^{mille},6 de câble d'atterrissement et 4^{milles},3 de câble de grands fonds furent embarqués. A dix heures quinze du matin, le tangage étant assez prononcé et le navire se trouvant à moins de 0^{mille},5 à l'est de la bouée n° 3_4, avec le vent et les courants portant à l'ouest, l'opération fut suspendue et le câble amarré à une petite bouée cylindrique. La *Charente* rentra à Marseille, où le mauvais temps la retint pendant trois jours.

Le 30 juin, on releva la bouée n° 3_4 et on vérifia l'état électrique du câble entre le navire et Alger. Son isolement ayant été trouvé égal à 55 Ω environ par mille, le bout en fut épissé sur le câble de grands fonds existant à bord et, immédiatement après, on se dirigea vers la bouée n° 1_8 en déroulant le câble. Une petite bouée en liège, destinée à servir de repère, avait été frappée sur l'épissure avec du filin de pitre. A six heures du soir, la *Charente* arrivait sur la bouée n° 1_8, faisait la jonction des deux bouts de câble immergés, après avoir vérifié le bon état du conducteur, côté de Marseille; enfin, à huit heures quarante du soir, l'épissure finale était mise à l'eau, aux acclamations de tout l'équipage.

La longueur de câble dépensée pour combler la lacune entre les bouées n°s 1_8 et 3_4 avait été de 5 milles environ.

Le 1er juillet, la *Charente* reprit le bout du câble libre, qui avait été rattaché à la bouée cylindrique, et en releva 17^{milles},2 jusqu'à neuf heures quarante du soir. A ce moment, le navire devait se trouver à environ 5 milles de l'extrémité nord de la section relevée au mois de décembre précédent et à moins de 1 mille

du câble nouvellement immergé. Le tracé de ces lignes présentant une certaine incertitude et la position du navire même ne pouvant être fixée avec une précision absolue, l'opération risquait de déplacer de son lit le nouveau câble ; il me parut plus prudent de l'arrêter. Le câble fut, en conséquence, coupé et le bout rejeté à la mer.

Le câble relevé dans la journée portait une coque très serrée et une partie aplatie ; il était en général revêtu de son enveloppe goudronnée, bien que celle-ci ne présentât plus aucune cohésion ; il avait reposé sur un fond de vase, noire au début, jaune plus loin. On ne rencontra qu'exceptionnellement du gravier. Au début, le câble ramena quelques coraux; mais, en général, il était dépourvu de végétaux aussi bien que d'animaux. Les rares corps organisés qu'on pût recueillir furent rassemblés et remis, à Marseille, à M. Geoffroy Saint-Hilaire, qui s'y trouvait, à bord du *Travailleur*, pour explorer lui-même les fonds de la Méditerranée.

La composition de la ligne se trouvait être maintenant :

D'Alger au point où avait été faite l'épissure sur le câble neuf. . .	442^{milles}
Câble neuf immergé.	36 ,2
— d'atterrissement ancien (côté de Marseille)	16 ,3
Total.	494^{mil},5

Le câble relevé, tant au mois de décembre que durant la campagne d'été, formait une longueur totale de 27^{milles},2 ; la partie abandonnée à la mer représentait donc à peine 9 milles.

Les opérations à la mer se trouvant ainsi terminées, des expériences furent faites au Prado, le 3 juillet, pour déterminer les conditions électriques du câble.

1° Mesure de l'isolement, 24 éléments Leclanché :

Résistance du galvanomètre	....	7.890ω
Constante	—	5,293Ω

courant du câble positif sortant, donnant au galvanomètre une déviation de 3,5 $ 30ω.

Déviation dans le câble après une minute d'électrification :

Par courant négatif	......	255 divisions	S 30ω
— positif	....	252 —	S 30

d'où :

Isolement total du câble............	79.200ω
Et par mille marin	39Ω

Perte de charge après une minute d'isolement : 92 p. 100.

2° Capacité électrostatique : 173 microfarads.

3° Résistance du cuivre :

Par courant positif	5.450ω
— négatif.	5.310
— positif	5.411
— négatif.	5.335
Moyenne générale.	5.376ω

et par mille marin 10ω,87 à la température de la mer.

Une série d'expériences fut instituée ensuite pour déterminer la position approximative de la faute qui restait dans le câble et qui remontait à son immersion en 1871.

1° La méthode de la chute des tensions ne donna aucun résultat ; la résistance de la faute étant en effet considérable, on n'avait qu'une très faible différence de potentiel en des points séparés par une résistance

électrique relativement considérable. La plus légère erreur d'observation devait donc fausser complètement les résultats.

2° Méthode de la boucle. Le câble de 1871 étant bouclé avec le câble de 1880, et l'expérience disposée comme l'indique la *fig.* 13 ci-contre, en débou-

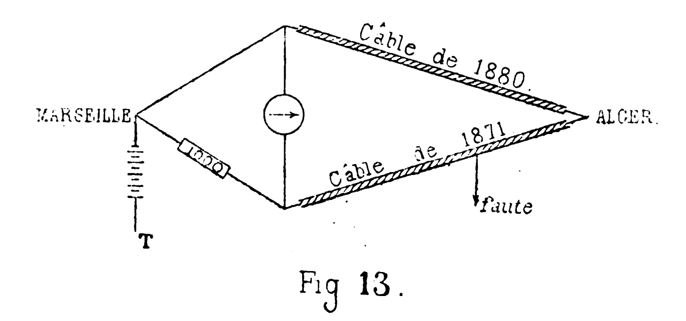


Fig 13.

chant 1000$^{\omega}$ près du câble de 1871, on obtient l'équilibre avec :

Courant	positif de	5 Leclanché	....	1.510$^{\omega}$
—	négatif	—	....	3.000
—	positif	—	....	1.520
—	négatif	—	....	2.730
—	positif	—	....	1.700
—	négatif	—	....	2.670
—	positif	—	....	1.230
—	négatif	—	....	3.500
		Moyenne générale	....	2.232$^{\omega}$

On en conclut pour la distance de la faute à Alger 193 milles de câble et en comptant le mou à 25 p. 100 sur cette section (la moyenne générale étant de 23,1 et les eaux les plus profondes se trouvant entre les Baléares et la côte d'Afrique), 155 milles nautiques comptés à partir d'Alger sur le tracé du câble.

3° Méthode de Varley. Le câble de 1871 étant encore bouclé avec le câble de 1880, et l'expérience disposée comme l'indique la *fig.* 14, opérant d'ailleurs

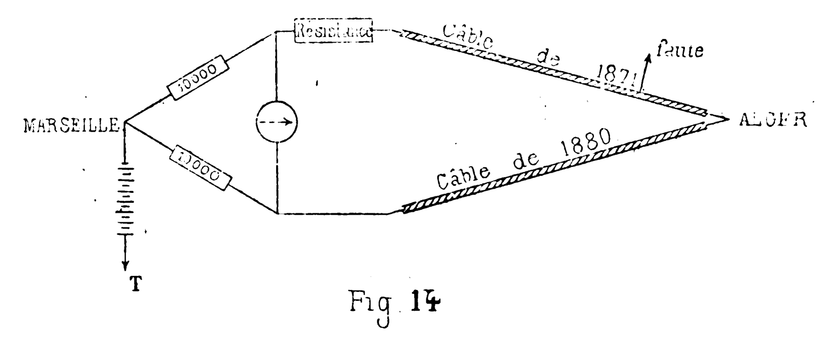


Fig. 14

avec 5 éléments Leclanché, on obtient l'équilibre en débouchant dans la caisse :

Avec courant négatif.	5.200$^{\omega}$
— positif	2.300
— négatif.	5.350
— positif	2.200
— négatif.	4.750
— positif	2.400
— négatif.	4.450
— positif	2.800
Moyenne générale. . . .	3.681$^{\omega}$

On en conclut pour la distance de la faute à Alger 177 milles de câble et 142 milles nautiques comptés sur la carte, mou déduit. La moyenne des deux nombres ci-dessus dont l'écart n'est que de 7 milles est de 148 milles, soit 45 milles à partir de la pointe sud de l'île de Minorque. On atteint en ce point les fonds de 1.000 brasses et la réparation, le jour où elle devra être entreprise, présentera de sérieuses difficultés.

Cinq années se sont écoulées depuis l'achèvement des opérations que nous venons d'exposer. Le câble a fonctionné, depuis lors, avec l'isolement faible provenant de la faute dont nous venons de fixer la position, mais avec une régularité parfaite et sans qu'il eût été nécessaire de le toucher en aucun point. Nous sommes donc en droit de nous féliciter hautement des résultats auxquels nous a conduit notre double campagne de 1880-1881 et qui ont été obtenus avec un bâtiment, une machinerie, un équipage et un personnel spécial exclusivement français. Si, pour compléter notre outillage, au printemps de 1881, nous avons encore dû avoir recours à l'industrie anglaise, c'est parce que, pressé par le temps, il ne nous était pas possible alors d'obtenir en France, à bref délai et avec la perfection indispensable, dans les plus petits détails, les engins qui nous étaient nécessaires. Mais il n'y a aucun doute, d'après les résultats obtenus antérieurement, que l'industrie française, convenablement guidée, ne puisse lutter victorieusement, sur ce terrain comme sur les autres, contre l'étranger. Et nous faisons des vœux sincères pour que la France cesse enfin d'être tributaire de sa voisine pour tout ce qui concerne la télégraphie sous-marine. Les câbles télégraphiques et l'outillage de pose ou de réparation sont, en temps de guerre, considérés comme contrebande de guerre; or, certaines communications télégraphiques sous-marines pourraient, en cas de guerre avec une puissance maritime, avoir une importance capitale. Il importe donc, pour la sécurité du pays, que ces communications puissent être établies rapidement, si elles n'existent pas, et dans le cas où elles seraient interrompues ou coupées, rétablies par des moyens

exclusivement français, sans intervention de l'étranger.

Avant de terminer, nous adressons nos plus sincères remerciements, aux officiers et marins, aux ingénieurs et agents de tous grades qui nous ont prêté leur concours durant cette laborieuse campagne. Tous ont fait preuve d'un zèle et d'un dévouement au-dessus de tout éloge.

E. WÜNSCHENDORFF.

DOCUMENTS RELATIFS

A

LA TRANSMISSION DE LA FORCE

PAR L'ÉLECTRICITÉ

(Suite.)

---

§ 8. — *Commutateur de démarrage.* — Cette obligation où l'on se trouve d'exciter les machines par des courants engendrés en dehors d'elles ne soulève à Creil, où l'on dispose de la force motrice, aucune difficulté. Il n'en est pas de même à la Chapelle.

A Creil, les locomotives mettent en mouvement, à l'aide d'une transmission par courroie, l'arbre des anneaux de la génératrice, lequel actionne à son tour celui de l'excitatrice.

Le mouvement de l'excitatrice détermine le courant local et, par suite, le champ magnétique de Creil.

Le mouvement de la génératrice se produisant dans ce champ magnétique détermine, par induction, le courant de la ligne. Ce courant passe donc dans les anneaux de la machine de la Chapelle; mais, comme à la Chapelle il n'y a jusqu'ici aucun champ magnétique, puisque le circuit local de la Chapelle est séparé de la ligne et ne reçoit rien, les anneaux récepteurs resteront immobiles, malgré le courant qui les traverse.

Il n'y a donc aucune transmission de travail. On a tout au plus de l'énergie disponible.

Pour la transformer en travail effectif, il faut créer et entretenir le champ magnétique de la Chapelle. Le moyen le plus naturel serait d'avoir là une petite machine à vapeur actionnant l'excitatrice. C'est ce moyen qu'on a employé dans les débuts; mais, au point de vue industriel, il serait absolument inacceptable, car, quand on prétend distribuer de la force, il

ne faut pas commencer par exiger de ceux qui doivent la recevoir qu'ils aient chacun une petite machine à vapeur à domicile. Ce serait comme si, pour pouvoir utiliser un abonnement au gaz, il fallait commencer par avoir une petite usine chez soi.

Mais la difficultté n'est qu'apparente, et voici par quelle disposition très ingénieuse M. Deprez l'a éludée :

On met l'arbre de l'anneau de la réceptrice en communication mécanique avec celui de son excitatrice par une courroie.

D'autre part, quand on commence à faire un transport, à l'aide d'un commutateur, on met provisoirement le circuit local de la Chapelle dans le circuit de la ligne. Alors, le courant de celle-ci arrivant à la fois dans les anneaux et les inducteurs de la réceptrice, les anneaux se mettent en mouvement; leur mouvement se communique à l'excitatrice et, par suite, le champ magnétique de la Chapelle va croissant.

Quand il atteint sa valeur normale, ce qui arrive au bout de peu d'instants, à l'aide du même commutateur, on sépare de nouveau le circuit local de la Chapelle de celui de la ligne. Une fois que le champ magnétique existe, il se maintient spontanément; car il fait mouvoir l'anneau de la réceptrice qui, entraînant par courroie celui de l'excitatrice, entretient le champ, lequel, à son tour, entretient le mouvement de la réceptrice.

Les deux appareils se prêtent le même appui mutuel que le piston et le tiroir d'une machine à vapeur.

Le commutateur ne sert donc qu'à chaque reprise du travail. Il se nomme, pour cette raison, un *commutateur de démarrage*. Par une disposition particulière, il permet d'établir ou de rompre la communication entre la ligne et le circuit local de la Chapelle d'une façon graduée et de manière à éviter tout échauffement des fils. Quatre des six galettes formant les inducteurs de la réceptrice sont introduites *en tension* dans la ligne Creil-Paris, puis, à l'aide du commutateur, retirées successivement et réintroduites *en quantité* dans le circuit de l'excitatrice.

Le problème général consistant à faire passer par un simple mouvement de rotation des éléments d'un circuit dans un autre, que ces éléments soient en tension ou en quantité dans

les deux circuits ou en tension dans l'un d'eux et en quantité dans l'autre, avait été déjà résolu. (Le rapporteur lui-même en avait donné une solution.) Mais ce qui est neuf et heureux, c'est de *mettre d'abord* en mouvement avec le courant de haute tension et d'entrenir ensuite l'aimantation avec le courant de l'excitatrice.

§ 9. *Distribution de la force à la Chapelle.* — La force reçue à la Chapelle peut naturellement être mesurée au frein. Mais, lorsqu'on ne veut pas faire de simples expériences, elle est employée, en totalité ou en majeure partie, à mouvoir les pompes des accumulateurs de la gare de la Chapelle. Le surplus, quand on le désire, est distribué entre divers appareils de manutention, à savoir :

1° Un marteau-pilon électrique de 80 kilogrammes et de 80 millimètres de chute qui fonctionne très bien;

2° Un tour;

3° Un treuil électrique qui fait marcher une petite grue roulante pour la manutention de charges de 300 kilogrammes.

4° Un frein électrique de locomotive.

La distribution est faite par le procédé le plus naturel et peut-être, dans l'état actuel de la science, le plus pratique.

L'arbre de la réceptrice, qui actionne déjà, comme il vient d'être dit, sa propre excitatrice, actionne aussi mécaniquement une autre machine Gramme. Celle-ci devient donc une génératrice et procure le travail aux diverses réceptrices des appareils qu'on veut faire fonctionner.

Parmi ces réceptrices, on doit signaler celle qui fait marcher le tour, parce qu'elle est à double enroulement.

Le double enroulement, d'abord imaginé par M. Deprez pour obtenir une différence de potentiel constante aux bornes d'une machine génératrice, a été plus tard appliqué, par lui, aux réceptrices, et alors il leur procure une vitesse sensiblement constante, malgré de notables et brusques variations de la résistance à vaincre.

Le résultat est très net à la Chapelle. Lorsque la petite réceptrice à double enroulement travaille, elle produit une force de 54 kilogrammètres par seconde, soit environ 2/3 de cheval, et marche à une vitesse de 1.130 tours par minute.

Si l'on enlève brusquement l'outil, en sorte qu'elle n'éprouve plus aucune résistance, sa vitesse ne dépasse pas 1.400 tours.

§ 10. *Premiers résultats constatés par la Commission.* — Parmi les résultats aujourd'hui acquis, le premier qu'il convienne de signaler consiste dans la continuité et la parfaite régularité de la marche des machines, dans l'absence à peu près complète d'étincelles aux balais; il y a incomparablement moins d'étincelles dans la génératrice et la réceptrice, malgré leurs hautes tensions et leurs grandes dimensions, que dans les excitatrices qui sont à basse tension. Cela tient à la grande puissance du champ magnétique et à une excellente proportion entre le courant des anneaux et celui des inducteurs.

Les balais des machines de M. Deprez sont calés avec une avance de 4 à 5 degrés seulement, ce qui est très avantageux au point de vue du rendement.

On ne remarque pas non plus d'échauffement considérable dans les machines, même après plusieurs heures de marche.

La vitesse de marche est extrêmement modérée, environ 200 à 220 tours par minute à la génératrice, ce qui répond à une vitesse périphériqne de $7^m,50$ par seconde, tandis que, dans une machine Gramme tournant à 1.000 ou 1.200 tours, la vitesse à la circonférence atteint $12^m,50$.

Aussi a-t-on pu marcher, comme nous l'avons dit plus haut, depuis le mois de février aussi longtemps qu'on l'a désiré, et si l'on n'a pas dépassé neuf heures consécutives, c'est uniquement pour ne surmener le personnel sans nécessité, de pareilles durées de marche constituant une épreuve très suffisante.

Il se peut que la réceptrice, qui a résisté jusqu'ici sans réfection, vienne à son tour à manquer. Alors on en refera les anneaux, comme on l'a fait à Creil et le fonctionnement sera assuré pour longtemps.

Ce sont là des résultats qui, pour être d'une vérification facile et à la portée de tous, n'en sont pas moins fondamentaux et, au point de vue pratique, aussi fondamentaux peut-être que le rendement lui-même; car le premier besoin d'un industriel est de pouvoir compter sur son outillage.

J'aborde maintenant avec un peu plus de détails les expériences de la Sous-Commission.

§ 11. *Tarage des instruments de mesure et mesure des résistances.* — Depuis le mois de février dernier, époque à laquelle on est arrivé à une marche régulière, les ingénieurs du chemin de fer du Nord et les électriciens spécialement attachés aux expériences ont fait journellement les mesures électriques et dynamométriques nécessaires pour déterminer le rendement obtenu, de sorte que la Commission a trouvé des instruments de mesure tout établis. Avant de s'en servir, elle a dû s'assurer de leur exactitude et faire le tarage de chaque instrument.

Ça été sa première opération.

A Creil, il y avait à tarer :

a. Pour les mesures mécaniques, deux dynamomètres du système White, identiques entre eux et servant à enregistrer le travail moteur fourni par les deux locomotives;

b. Pour les mesures électriques, deux galvanomètres d'intensités, à déviations proportionnelles, système Deprez, destinés l'un à mesurer le courant des anneaux et l'autre le courant des inducteurs et un potentiomètre, même système, pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de la génératrice.

A la Chapelle :

a. Au point de vue mécanique, un frein de Prony pour mesurer le travail utile recueilli;

b. Au point de vue électrique, les mêmes instruments qu'à Creil.

Les constantes des galvanomètres ont été déterminées par la méthode de M. Cornu, déjà employée lors des expériences de la gare du Nord.

Les dynamomètres ont été tarés à l'aide du frein de Prony.

Ce contrôle, dont les résultats sont consignés au Tableau annexe I a montré la parfaite exactitude des instruments de mesure employés, ainsi que des coefficients propres à chacun d'eux.

Les différences entre les résultats obtenus par la Commission et les résultats moyens des nombreuses observations relevées

journellement par les ingénieurs attachés aux expériences sont partout de l'ordre des erreurs d'observation.

L'exactitude des instruments reconnue, on a mesuré les résistances des machines et de la ligne; les mesures ont été faites par la méthode ordinaire du pont de Wheatstone. Les résultats en sont consignés au Tableau n° 2.

§ 12. *Expériences pratiques de transport.* — Ces opérations préliminaires terminées, le 24 mai, une partie de la Sous-Commission s'est rendue à Creil et une autre partie à la Chapelle, pour faire les expériences de transport. Les résultats de ces expériences sont consignés au Tableau n° 1. On a opéré, en faisant varier la vitesse de marche de la génératrice depuis 168 tours jusqu'à 218 tours par minute; sa force électromotrice a varié depuis un minimum de 4.887 volts jusqu'à un maximum de 6.290 volts.

La force consommée à Creil a varié (abstraction faite des décimales) de 67 à 116 chevaux, et celle recueillie à Paris de 27 à 52 chevaux.

Le rendement augmente avec la force transportée. — Le rendement industriel a varié de 40,78 à 44,81, soit environ de 41 à 45 p. 100. Sauf une petite anomalie dans l'expérience 3, il augmente avec le nombre des chevaux transportés, ce qui tient à des pertes sensiblement constantes, comme celles nécessitées par les champs magnétiques, pertes qui sont comme les frais généraux de l'opération. Ils deviennent de moins en moins sensibles à mesure qu'on opère sur une plus grande échelle.

Ainsi, c'est l'expérience la plus importante, celle dans laquelle on a pris 116 chevaux à Creil pour en recevoir 52 à Paris, qui a donné le rendement le plus grand, celui de 45 p. 100.

Le fait qu'on peut ainsi transporter industriellement 116 chevaux de force brute à 56 kilomètres de distance en en tirant un rendement industriel strictement mesuré de 45 p. 100 et en ne dépassant pas une vitesse de 218 tours à la génératrice, et cela avec continuité, sans fatiguer les machines, constitue un résultat extrêmement remarquable, auquel il était difficile de s'attendre et qu'il convient de signaler hautement.

§ 13. *Discussion.* — Mais il ne suffit pas de constater le fait brut du rendement de 45 p. 100. Il importe de rechercher comment ont été consommés les 55 p. 100 de force perdue. Ils l'ont été évidemment, en partie, par les machines, en partie par la ligne.

Travail absorbé par la génératrice. — Le travail communiqué à la génératrice a été de 116 chevaux. La différence des potentiels aux bornes de cette machine est de 6.004 volts. L'intensité du courant est $9^{amp},879$.

Donc, le travail disponible aux bornes de la génératrice, exprimé en chevaux, est

$$\frac{6004 \times 9,879}{75 \times g} = \frac{6004 \times 9,879}{735,66} = 80^{chx},4.$$

La perte de travail par la génératrice est donc de

$$116^{chx} - 80^{chx} = 35^{chx},6.$$

Travail absorbé par la réceptrice. — La différence des potentiels aux bornes de la réceptrice est de 5.456 volts ; l'intensité du courant y est de $9^{amp},824$; le travail que reçoit la réceptrice à son entrée, exprimé en chevaux, est donc

	chx
$\frac{5456 \times 9,824}{735,66}$, soit.	73,1
Le travail utile recueilli à sa sortie étant de.	52,1
Le travail perdu par la réceptrice est de. . . .	21,0

Travail absorbé par la ligne. — Le travail disponible ayant été trouvé

	chx
Aux bornes de la génératrice de.	80,4
Aux bornes de la réceptrice de.	73,1
Le travail perdu par la ligne est de.	7,3

Mais le chiffre obtenu de la sorte ne mériterait aucune confiance. En effet, il résulte de la différence de deux nombres très grands. Pour peu qu'on se soit trompé dans les observations relatives à chacun d'eux, l'erreur relative commise sur leur différence peut être de même ordre que cette différence elle-même.

Cela est d'autant plus vrai qu'il faut noter que toutes les

mesures prises sont des mesures industrielles et non des mesures de précision.

Il est donc indispensable de déterminer directement la perte de la ligne. Cette perte en chevaux est le produit de la résistance de la ligne par le carré de l'intensité moyenne du courant, divisé par 75 g.

La résistance de la ligne (Tableau II) étant de $97^{ohms},45$ et le courant moyen (Tableau I) de $9^{amp},85$, le travail cherché est

$$\frac{97,45 \times 9,85^2}{75\,g} = \frac{97,45 \times 97,02}{735,66} = \frac{9454,60}{735,66} \ldots\ldots \quad 12,7$$

au lieu de. 7,3
trouvés ci-dessus,

soit une différence de. 5,4

La perte totale constatée au dynamomètre et au frein étant de

$$116 - 52 = 64^{chx},$$

la perte totale par les machines ne peut être que de

$$64 - 12,7 = 51^{chx},3$$

au lieu de $56^{chx},6$ résultant des observations électriques.

Si l'on répartit cette différence proportionnellement sur les deux machines, on trouvera définitivement les chiffres suivants :

		chx
Perte par la génératrice	$\frac{35,6 \times 51,3}{56,6} =$	32,2
Perte par la réceptrice.	$\frac{21,1 \times 51,3}{56,6} =$	19,1
Perte par la ligne		12,7
Total		64,0

On voit par ce qui précède que la perte due à la ligne est très faible et que ce sont les machines qui consomment le plus de force.

On est dès lors conduit à se poser cette question :

Quelle est la valeur industrielle des machines construites par M. Deprez ?

Pour préciser la discussion, nous nous attacherons plus particulièrement à la machine de Creil, puisqu'aussi bien c'est la plus importante comme dimensions et celle qui répond le mieux aux idées actuelles de l'inventeur, et nous discuterons

l'expérience la plus importante, celle où l'on a consommé 116 chevaux à Creil.

§ 14. *Examen de la valeur industrielle de la machine de Creil.* — Une pareille machine peut être envisagée à quatre points de vue :

1° Au point de vue des qualités de ses inducteurs ou de son champ magnétique;

2° Au point de vue des qualités de ses induits ou anneaux;

3° Au point de vue des qualités d'ensemble de la machine ou de son rendement industriel;

4° Au point de vue de ses qualités mécaniques.

Ces dernières qualités, nous les avons reconnues par la facilité de construction et de réparation de la machine, ses dimensions massives, la lenteur de sa marche. Nous n'y reviendrons pas.

1° *Valeur économique de son champ magnétique.* — Si l'on fait mouvoir dans un champ magnétique un fil de cuivre de 1 mètre de longueur avec une vitesse de 1 mètre par seconde, il naît dans le fil une force électromotrice qui peut servir de mesure à l'intensité du champ.

Il suffit de multiplier le nombre de volts qui constituent cette force électromotrice par 10^4 pour avoir la mesure du champ en unités C.G.S.

Mais l'intensité ne forme pas, à elle seule, la valeur économique d'un champ magnétique. Son volume intervient également dans la grandeur des effets qu'on en peut obtenir. Ce volume, dans une machine dynamo-électrique, est compris entre les deux cylindres concentriques qui limitent les inducteurs et les noyaux des induits.

Dans la machine de Creil, la distance entre les surfaces cylindriques qui limitent les inducteurs et le noyau des induits est de $0^m,06$. La circonférence moyenne du volume annulaire occupé par le champ a $0^m,74$ de diamètre. La largeur du champ de chaque anneau, égale à la largeur du noyau de l'anneau, est de $0^m,40$. Il en résulte que le volume des champs des deux anneaux est

$$V = 2 \times \pi \times 0,74 \times 0,06 \times 0,40,$$

soit environ $V = 111^{dmc}$.

D'autre part, si nous prenons toujours l'expérience la plus importante, celle où l'on a consommé 116 chevaux, la force électromotrice développée par le champ dans l'anneau de la génératrice est de 6.290 volts, la vitesse étant de 218 tours par minute.

L'anneau est divisé en 196 sections, soit sur une des moitiés comprises entre les balais $\frac{196}{2} = 98$ sections, ayant chacune 20 mètres de fil utile (50 brins de $0^{m},40$ de longueur).

La longueur totale du fil est donc de

$$98 \times 20 = 1,960^{m}.$$

La circonférence moyenne décrite ayant $0^{m},74$ de diamètre, soit $2^{m},32$ de tour, la surface décrite par le fil, dans un tour de l'anneau, est

$$1.960 \times 2,32 \doteq 4,547^{mq},$$

soit pour les deux anneaux

$$2 \times 4.547 = 9.094^{mq}.$$

Comme la vitesse est de 218 tours par minute, la surface décrite par seconde est

$$\frac{9.094 \times 218}{60} = 33.041^{mq}.$$

La force électromotrice étant de 6.290 volts, on obtient, par unité de vitesse,

$$\frac{6.290}{33.041} = 0^{volt},190.$$

Donc, en unités C.G.S., le champ est

$$H = 0,190 \times 10^{4} = 1.900 \text{ unités.}$$

Évaluons à présent la force brute qu'il a fallu dépenser pour l'obtenir.

Les expériences (Tableau III) montrent qu'avec un courant de 36 ampères dans l'excitatrice, courant très voisin de celui 36,30 existant (Tableau I) dans le champ magnétique relatif à l'expérience de transport que nous examinons, le travail observé au dynamomètre, nécessaire pour faire fonctionner l'excitatrice, a été de $12^{chx},68$.

Ainsi, en résumé, la génératrice de Creil fournit un champ magnétique de 1.900 unités, d'un volume de 111 décimètres cubes, moyennant une force de $12^{chx},68$.

Comparaison avec le champ magnétique de la machine Gramme (type A). — Faisons le même calcul pour la machine Gramme (type A). — Pour obtenir un champ de 1.900 à 2.000 unités, il faut, dans cette machine, un courant de 20 ampères traversant un circuit inducteur dont la résistance est de $0^{ohm},6$.

Le travail dépensé est donc

$$\frac{0,6 \times \overline{20}^2}{75g} = \frac{0,6 \times \overline{20}^2}{736} = 0^{ch},326.$$

Les dimensions du champ dans la machine Gramme sont les suivantes :

Épaisseur annulaire du champ.	$0^m,01$
Longueur de la circonférence moyenne.	0 ,55
Largeur du noyau de fer	0 ,10

d'où, pour le volume du champ,

$$V = 0,55 \times 0,10 \times 0,01 = 6^{dmc},55,$$

soit environ $\frac{1}{200}$ de celui de la machine de Creil.

Donc, pour produire, avec des machines type A, un champ de même intensité et de même volume que celui de Creil, il faudrait 200 machines Gramme.

Comme chacune d'elles dépense $0^{ch},326$, la force nécessaire serait de

$$200^{chx} \times 0,326 = 65^{chx}$$

au lieu de $12^{chx},60$ consommés à Creil. Il faudrait donc environ 5 fois plus de force.

En outre, le poids de cuivre de chaque machine type A est d'environ 30 kilogrammes; la dépense en cuivre serait donc de 6.000 kilogrammes au lieu qu'elle n'est que de 2.534 kilogrammes dans la machine de M. Deprez.

On voit donc qu'au point de vue de la création du champ magnétique, les grands inducteurs employés par M. Deprez sont extrêmement avantageux.

2° *Valeur des anneaux de cuivre.* — L'anneau d'une machine dynamo-électrique est d'autant plus parfait qu'il s'y produit moins de travaux parasites, c'est-à-dire de travaux autres que ceux qu'on peut recueillir aux balais. Tels sont les travaux absorbés par les courants de Foucault dans les noyaux de fer, par les phénomènes de self-induction se produisant deux fois par tour pour chaque section de l'anneau.

Mais il peut y avoir d'autres causes de perte de travail non analysées ou provenant de vices de construction de l'anneau.

Appelons T_i le travail ainsi perdu par des causes connues ou inconnues; T_m le travail moteur brut fourni et mesuré au dynamomètre; T_e la partie de ce travail consacrée à l'excitatrice; T_f celui consommé par les résistances passives mécaniques, telles que frottement de l'arbre de la machine, des balais, raideur des courroies, vibrations, etc.

La valeur du travail réellement fourni à l'anneau est

$$T_m - T_e - T_f - T_i.$$

Or ce travail, comme on sait, est égal au produit $\frac{EI}{75g}$ de la force électromotrice par le courant divisé par $75g$. On a donc rigoureusement

$$T_m - T_e - T_f - T_i = \frac{EI}{75g},$$

d'où

$$\frac{\frac{EI}{75g}}{T_m - T_e - T_f} = 1 - \frac{T_i}{T_m - T_e - T_f}.$$

Si l'anneau était parfait, si aucun de ces travaux parasites désignés par T_i n'existait, le premier membre serait l'unité.

La valeur de ce premier membre, toujours inférieure à l'unité, est ce qu'on nomme habituellement le *coefficient de transformation de la machine* et pourrait se nommer plus exactement le *rendement de l'anneau.* C'est en effet l'anneau qui est d'autant meilleur que ce chiffre est plus voisin de l'unité.

Établissons, comme nous l'avons fait pour le champ magnétique, la comparaison entre l'anneau de la machine Gramme (type A) et celui de Creil.

La force électromotrice de la machine de Creil, exprimée en hevaux, est

$$\frac{EI}{75g} = \frac{6.290 \times 9,879}{735,66} = 84^{chx},5.$$

Le travail moteur est

$$T_m = 116^{chx}.$$

D'autre part (Tableau III), à une vitesse de 208 tours, le travail absorbé par le frottement (circuit ouvert) est $9^{chx},38$; donc, pour 218 tours, ce sera

$$T_f = \frac{218}{208} \times 9,38, \quad \text{soit} \quad 9^{chx},85.$$

Le travail absorbé par l'excitatrice en action (avec le courant de 36 ampères, qui est sensiblement celui de notre expérience, est (Tableau III)

$$T_e = 12^{chx},68,$$

d'où

$$T_m - T_e - T_f = 116 - 12,68 - 9,85 = 93,47$$

et, pour le coefficient de transformation,

$$\frac{84,5}{93,47} = 0,90.$$

Comparaison avec l'anneau Gramme (*type* A). — Or la machine type A donne, d'après les expériences faites à l'Exposition de 1881, par MM. Tresca, Potier, etc., un coefficient analogue.

Il résulte de là que l'anneau de Creil, malgré ses grandes dimensions et la grande longueur de fil contenue dans chaque section, et qui semblerait devoir accroître, dans une proportion extrêmement grande, notamment les phénomènes de self-induction, est aussi parfait que les petits anneaux.

En résumé, comme production du champ magnétique, les dispositions adoptées par M. Marcel Deprez sont extrêmement avantageuses; d'autre part, son anneau fournit le même rendement que celui des machines Gramme (type d'atelier), et cela, avec une vitesse de marche de beaucoup inférieure et une grande facilité de construction et de réparation.

3° *Rendement industriel de la machine de Creil.* — Après avoir étudié chacune des deux parties (inducteurs et induits) de la machine de Creil, prenons-la dans son ensemble, de manière à en indiquer le rendement effectif.

On définit habituellement le rendement d'une machine dynamo-électrique par le rapport

$$\frac{\frac{EI}{75g}}{T_m}$$

de son travail électrique au travail moteur qu'on lui fournit. Ce rendement dans l'expérience que nous considérons serait

$$\frac{84,5}{116} = 0,725,$$

soit environ 0,73.

Mais ce qui intéresse l'industriel, ce n'est pas le travail électrique d'une machine génératrice, mais le travail qu'on récolte à ses bornes, comparé à celui qu'on lui fournit. Le rendement ainsi entendu (et c'est le plus défavorable que l'on puisse considérer) est le rapport

$$\frac{\frac{\varepsilon I}{75g}}{T_m} = \frac{6.004 \times 9,879}{735,66 \times 116},$$

ε étant la différence de potentiel aux bornes de la machine.

On obtient ici 0,70, soit environ 30 pour 100 de perte. Ce chiffre est probablement excessif, puisque, en calculant directement la perte due à la ligne, nous avons vu que les pertes dues aux machines sont, en fait, un peu moindres que celles résultant des observations électriques.

Nous avons trouvé (§ 14) que la perte de la génératrice est de $32^{chx},2$ soit 116 qu'elle reçoit, soit

$$\frac{32,2}{116} = 27,7 \text{ pour } 100, \quad \text{soit} \quad 28 \text{ pour } 100,$$

ce qui lui donnerait un rendement de 0,723, soit environ 72 p. 100. Les ingénieurs de M. Deprez ont trouvé 73 à 74 p. 100. Admettons la perte la plus grande de 28 p. 100; elle se répartit ainsi :

Sur 116 chevaux de force motrice fournie, $9^{chx},85$ ont été

perdus en frottement, raideur des cordes, etc. ; $12^{chx},68$ ont été consacrés à faire marcher l'excitatrice; le surplus a été transformé en chaleur sur l'anneau.

De là résulte qu'on peut résumer les pertes dues à la génératrice :

	Pour 100.
1° Pertes mécaniques (frottements, raideur des cordes, vibrations, etc.).	8,5
2° Force dépensée à produire le champ magnétique.	11
3° Échauffement de l'anneau.	8,5
Total.	28

§ 15. *Rendement industriel de la machine de la Chapelle.* — Pour une réceptrice le rendement industriel (entendu aussi dans le sens le plus défavorable) est le rapport de la force qu'elle absorbe à ses bornes à celle qu'elle fournit au frein sur l'arbre de son anneau. Les résultats numériques du Tableau I indiquent, dans l'expérience dont nous nous occupons, que le rendement ainsi entendu est de 76,5 p. 100.

§ 16. *Rendement industriel des deux machines accouplées.* — Ce qui ressort avec certitude des observations dynamométriques, c'est que la perte totale est de 64 chevaux. Et comme la ligne a absorbé $12^{chx},7$, les deux machines ensemble ont absorbé $51^{chx},3$.

Il résulte de là que, dans tout transport de force, si faible que soit la distance du transport, par le seul fait qu'on est obligé d'employer deux machines, on ne peut, avec la vitesse de 200 tours admise à Creil, la force électromotrice d'environ 6.290 volts et l'excitation séparée, compter que sur un rendement de

$$1 - \frac{51,3}{116} = \frac{64,7}{116} = 55,43 \text{ pour } 100.$$

Le rendement moyen de chacune des deux machines strictement observé est donc

$$\sqrt{0,5543} = 74 \text{ pour } 100,$$

ce qui est sensiblement conforme au résultat obtenu pour chacune d'elles.

Du rendement de 0,5543, soit en nombre rond de 55 p. 100 fourni par les deux machines réunies, il faut retrancher, dans chaque cas, le travail perdu par la ligne.

§ 17. *Conclusions.* — 1° On peut affirmer aujourd'hui la possibilité, avec une seule génératrice et une seule réceptrice, de transporter à une distance de 56 kilomètres une force industriellement utilisable d'environ 52 chevaux avec un rendement de 45 p. 100, sans dépasser un courant de 10 ampères, une vitesse angulaire de 216 tours à la minute ou une vitesse périphérique de 7^{m},50 par seconde.

Si l'on tient compte de la force absorbée par les dynamomètres et autres instruments de mesure, par les courroies et les appareils disposés en vue de faciliter les expériences ou la recherche des meilleures proportions à adopter pour les organes de transmission, toutes choses qui n'existeraient pas dans les applications industrielles, on peut dire, dès à présent, que, dans la pratique, le rendement sera très voisin de 50 p. 100.

Sur la perte de 55 p. 100 les deux machines avec leurs excitatrices ont absorbé à elles seules environ 45 p. 100 et la ligne environ 10 p. 100.

Dans chaque cas la ligne absorbera plus ou moins suivant qu'on adoptera un fil plus ou moins gros.

Quand on disposera de beaucoup de force à bon marché et que, par suite, on ne tiendra pas au rendement, on emploiera du fil de faible section, ce qui rendra l'installation plus économique, mais absorbera plus de force.

Si, au contraire, la force dont on dispose est mesurée et qu'on veuille en tirer le parti le plus avantageux possible, on devra faire un sacrifice sur les frais de premier établissement en adoptant un gros fil. On voit que c'est là un problème ordinaire d'ingénieur à résoudre, dans chaque cas, suivant les circonstances.

2° Le fonctionnement des machines est aujourd'hui extrêmement satisfaisant par sa régularité et sa continuité.

Depuis le mois de février, on a marché moyennement pendant cinq heures par jour et jusqu'à neuf heures sans échauffement grave, sans brûlure de fil, sans étincelles aux balais.

3° La vitesse de la génératrice quand elle consomme 116 chevaux n'est que de 216 tours à la minute et celle de la réceptrice de 295 tours. Ce sont des vitesses industrielles et avec lesquelles on ne devait pas s'attendre à produire de si grands effets, et c'est un spectacle vraiment majestueux que celui d'une machine dynamo-électrique marchant avec cette lenteur et assez puissante pour que, à chaque tour que font ses anneaux, un travail mécanique de 1.000 kilogrammètres à 1.200 kilogrammètres devienne industriellement utilisable à 56 kilomètres du point où ils tournent.

4° La force électromotrice maxima est de 6.290 volts.

Le danger résultant de l'emploi de telles tensions est une des principales objections qu'on adresse à ces expériences, au point de vue de leur application à la pratique courante.

Nous croyons que c'est là un préjugé qu'il importe de ne pas laisser s'accréditer.

Les expériences de Creil durent depuis plus de six mois; c'est la première fois que le personnel qui y est employé manie ces hautes tensions, et pourtant on n'a pas eu le moindre accident à déplorer, ce qui prouve qu'avec des précautions le danger peut être conjuré.

D'ailleurs, toutes les industries humaines, sans exception, sont pleines de dangers, surtout les industries naissantes.

A mesure qu'elles progressent le danger diminue, mais sans jamais disparaître. Il y aura toujours des heures où la fatalité triomphera de la prévision humaine. Ces moments douloureux, l'homme les accepte comme des épisodes sans influence sur le résultat final de sa lutte contre les forces naturelles.

Les catastrophes que nous réservent encore aujourd'hui, malgré les progrès accomplis, les deux plus grandes industries du monde, celle des chemins de fer et celle des transports maritimes, n'empêchent heureusement personne de profiter de leurs bienfaits.

Il en sera de même pour le transport de la force, s'il donne les résultats qu'il est permis aujourd'hui d'en espérer.

5° Une autre crainte que pouvait inspirer l'emploi des hautes tensions résulte des pertes d'électricité qu'elles devaient faciliter en route.

L'expérience, qui seule pouvait prononcer en cette ma-

tière, n'a pas justifié ces craintes, que la théorie rendait acceptables.

Par tous les temps, la résistance de la ligne est restée sensiblement constante à température égale, et la différence des courants de Creil et de la Chapelle a toujours été très faible. On en peut juger par les chiffres du Tableau I.

6° En acceptant une vitesse de 300 tours au lieu de 200, ce qui paraît très admissible et ce qui, selon les convictions de M. Deprez, est largement réalisable, on pourrait, sans même accroître la force électromotrice, uniquement en diminuant la résistance des anneaux, gagner encore sur le rendement.

M. Deprez espère ainsi dépasser le rendement de 50 p. 100 d'abord annoncé par lui.

A plus forte raison en sera-t-il ainsi si l'on consent à accroître la force électromotrice, ce qui peut se faire sans augmenter le poids du cuivre des machines et sans changer leurs vitesses, et ce que M. Deprez regarde comme réalisable. Toutefois, sur ce point, l'expérience n'a pas encore décidé.

7° En ce qui touche le fil, la Commission estime qu'il peut rester nu sur toute sa longueur, sauf à son entrée et à sa sortie des usines, pourvu qu'on le mette partout ailleurs hors de portée de la main et à une distance d'au moins $0^{m},75$ à 1 mètre des fils télégraphiques et téléphoniques, de façon qu'il ne puisse s'y mêler, quelque vent qu'il fasse, ni exercer sur eux aucun effet d'induction.

8° Le prix de revient d'un projet de transport ne peut naturellement pas se baser sur les dépenses faites dans des expériences où tout était à créer. La Commission a cependant tenu à se renseigner sur le coût probable du transport de 50 chevaux entre Paris et Creil, avec les tensions fournies par ces expériences.

Il semble que ce prix pourrait être établi ainsi :

Machine génératrice	50.000 fr.
Machine réceptrice.	30.000
Ligne de 56 kilom., estimée à 800 fr. le kilom. (aller et retour).	44.800
Total	124,800 fr.

Ce prix est donné à titre de simple indication. M. Deprez

considère qu'il sera notablement diminué par le fait d'une fabrication courante des machines, comme aussi par d'importantes améliorations qu'il compte y apporter, en mettant à profit l'enseignement tiré des expériences actuelles.

9° Au point de vue scientifique, ces expériences paraissent réduire à néant, ou à bien peu de choses, les effets de self-induction qui sembleraient devoir résulter des changements brusques de polarité qui se produisent deux fois par tour, au passage de chaque fil devant les balais.

Elles montrent aussi qu'avec une construction soignée, on peut se garer, même dans les plus grandes machines, des courants de Foucault.

Enfin, elles confirment les lois de l'induction électrodynamique bien au delà des limites qu'on avait pu atteindre dans les expériences antérieures.

J'ajoute que le rapport de la Commission se termine en ces termes :

La Commission, au nom de la science et de l'industrie, adresse ses chaleureuses félicitations à M. Marcel Deprez pour les admirables résultats qu'il a obtenus. Elle exprime à MM. les barons de Rothschild sa vive reconnaissance pour l'inépuisable générosité avec laquelle ils ont doté cette gigantesque expérience.

TABLEAU I. — Expériences de transport faites par la Commission d'examen le 24 mai 1886.

NUMÉROS D'ORDRE		1		2		3		4		5	
		CREIL	PARIS	CREIL	PARIS	CREIL	PARIS	CREIL	PARIS	CREIL	PARIS
HEURES		10h,20	»	10h,30	»	10h,40	»	11h,00	»	11,h10	»
Intensité.	Déviation du galvanomètre : $K = \begin{cases} \text{Creil}^{(1)}\ K_{VI} = 0{,}300 \\ \text{Paris}\ K_{V} = 0{,}222 \end{cases}$	22,93	30,75	25,18	33,50	27,43	36,50	30,43	40,25	32,93	44,25
	Intensité en ampères	6a,879	6a,827	7a,554	7a,437	8a,229	8a,103	9a,129	8a,936	9a,879	9a,821
Intensité moyenne		6,85		7,50		8,17		9,25		9,85	
Force électromotrice.	Déviation du potentiomètre : $K = \begin{cases} \text{Creil}^{(2)}\ K_{IX} = 164^{v},5 \\ \text{Paris}\ K_{II} = 129\ ,3 \end{cases}$	28,50	32,20	30,37	35,50	32,62	37,40	34,75	39.20	36,50	42,20
	Potentiel aux bornes	4 688vol	4.163vol	4.996vol	4.526vol	5.366vol	4,836vol	5.716vol	5.069vol	6.004vol	5.456vol
	Force électromotrice	4.887	3.902	5.215	4.242	5.605	4.527	5.981	4.711	6.290	5.081
Champ magnétique.	Déviation du galvanomètre : $K = \begin{cases} \text{Creil}^{(1)}\ K_{VII} = 1{,}027 \\ \text{Paris}\ K_{IV} = 1{,}106 \end{cases}$	30,25	25,00	31,00	26,50	30,25	27,50	33,50	29,00	35,35	31,00
	Intensité en ampères	31,07	27,65	31,84	29,31	31,07	30,42	34,40	32,07	36,30	34,29
	Travail électrique (en chevaux)	7,54	3,97	7,92	4,46	7,54	4,81	9.25	5,34	10,30	6,11
Nombre n de tours par minute		168	244	182	257	199	267	206	278	218	295
Somme y des ordonnées du dynamomètre		171,5	»	181	»	188	»	213	»	228	»
Abscisse x du dynamomètre		84	»	92	»	99	»	»	»	»	»
Travail dynamométrique à la génératrice $\left(T_m = \frac{xy}{216} \text{ en chevaux}^{(3)}\right)$		66,7	»	77,1	»	86,1	»	102	»	116	»
Charge P au frein de la réceptrice (L = 2m,30, bras de levier du frein)		»	35k	»	40k	»	45k	»	50k	»	55k
Travail mécanique utile de la réceptrice donné par le frein $\left(T_u = \frac{2 \varpi L n P}{60 \times 75} \text{ en chevaux}\right)$		»	27,2	»	32,8	»	38,6	»	44,8	»	52
Rendement mécanique industriel		40,78		42,54		44,83		43,92		44,81	

OBSERVATIONS

(1) Une déviation d'un degré du galvanomètre vaut K ampères.

(2) Une déviation d'un degré du potentiomètre vaut K volts.

(3) La formule $T_m = \frac{xy}{216}$ résulte du tarage des dynamomètres.

TABLEAU II.

Mesures faites par la Commission d'examen des expériences.

RÉSISTANCES.

		ohms
Génératrice.	Anneaux.	29,00
	Inducteurs.	5,75
Réceptrice.	Anneaux.	38,18
	Inducteurs.	3,82
Ligne.		97,45

Excitatrice de Creil (anneau et inducteurs en tension). . 1,26

Excitatrice de la Chapelle. — Elle est à double enroulement sur les inducteurs : un enroulement à gros fil dans le circuit formé par l'anneau et les inducteurs de la réceptrice et un circuit à fil fin, en dérivation.

Anneau.	0,28
Enroulement à gros fil.	0,12
Enroulement à fil fin.	27,81

TABLEAU III. — **Expériences sur le fonctionnement de l'excitatrice et des transmissions.**

POSITION DE LA COURROIE sur les cônes (1).	NOMBRE DE TOURS par minute des transmissions.	TRAVAIL SUR L'ARBRE MOTEUR mesuré aux dynamomètres. Nombre de tours des dynamomètres	Ordonnées totales des enregistreurs y^{mm}.	$T_m = \frac{xy}{216}$. Courroie de l'excitatrice tombée.	COURROIE de l'excitatrice montée. Circuit ouvert b	Circuit fermé a	TRAVAIL ABSORBÉ PAR L'EXCITATRICE en action $a - b$.	NOMBRE DE TOURS par minute de la génératrice et du grand cône (1)	NOMBRE de tours par minute du petit cône (1) théo-riques.	pra-tiques.	EXCITATRICE. NOMBRE de tours par minute théo-riques.	pra-tiques.	TRAVAIL FOURNI pour le champ magnétique de la génératrice $C = \frac{RI^2}{75g}$. Nombre de divisions du galvanomètre n.	Intensité du courant $I = nK$.	Résistance des inducteurs de la génératrice R.	C	OBSERVATIONS.
				chev.	chev.	chev.	chev.						d.	A	w	chev.	K = 1,03 (coefficients du galvanomètre).
1	52	78	16,5	5,95	»	»	»	156	170,5	170	»	»	»	»	»	»	
1	52,2	78,5	18	»	6,54	»	»	157,5	172,2	172	1.002	972	»	»	»	»	
1	52,1	78,2	50	»	»	18,10	11,56	157	172	172	1.002	951	31,25	32,2	7	9,86	(1) Cônes reliés par courroie pour permettre de faire varier la vitesse de l'excitatrice.
2	»	»	»	6,28	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
2	»	»	»	»	7,04	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
2	52,5	79	66	»	»	24,14	17,10	156	200	198	1.155	1.116	37,5	38,6	7	14,2	
3	51,2	77	18,2	6,59	»	»	»	155	236	237	»	»	»	»	»	»	
3	»	»	»	»	7,54	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
3	52,1	78,2	90,3	»	»	34,08	26,54	158	240	236	1.376	1.341	46	47,4	7	21,3	1re *série d'expériences.*
5	51,6	77,5	19,3	6,92	»	»	»	154	334	339	»	»	»	»	»	»	Poulie de 200 millim., montée sur l'arbre de l'excitatrice.
5	52,1	78,5	23,5	»	8,54	»	»	155	336	330	1,925	1,920	»	»	»	»	
1	67,5	101	17,5	8,17	»	»	»	204	224	224	»	»	»	»	»	»	
1	68	102	18	»	8,49	»	»	204	224	224	870	868	»	»	»	»	
1	68	102	34	»	»	16,06	7,57	205	224,5	224	858	858	27,25	28,1	7	7,5	2e *série d'expériences.*
2	»	»	»	8,38	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
2	69,2	104	19,5	»	9,38	»	»	208	267,5	267	1.070	1.052	»	»	»	»	Poulie de 300 millim., montée sur l'arbre de l'excitatrice.
2	68,2	102,5	46,5	»	»	22,06	12,68	205	263,5	260	1.010	1.010	35	36	7	12,3	
3	68	102	18	8,50	»	»	»	203	307	307	»	»	»	»	»	»	
3	67,5	101	20,5	»	9,58	»	»	203	307	306	1.190	1.185	»	»	»	»	
3	67,5	101	62,5	»	»	29,25	19,67	204	308	305	1.185	1.163	42	43,3	7	17,8	
1	100	151	21,05	14,65	»	»	»	306	335	334	«	»	»	»	»	»	3e *série d'expériences.*

Après la lecture de ce rapport, M. Marcel Deprez remercie ses confrères, MM. J. Bertrand, Edm. Becquerel et A. Cornu, pour la part active qu'ils ont prise aux travaux dont M. Lévy vient de faire une analyse si profonde et si claire.

Il saisit cette occasion pour adresser aussi ses remercîments à ses collaborateurs, M. Sarcia, ingénieur chargé de la construction des machines et de la direction du poste de Creil; M. Géraldy, ingénieur des ponts et chaussées chargé de la direction du poste de Paris; M. Minet, chargé de la graduation et du contrôle des instruments de mesures électriques; MM. Duché et Clémenceau, ingénieurs préposés aux expériences de mesures et à la surveillance des machines.

Qu'il me soit permis, ajoute en terminant M. Marcel Deprez, d'adresser l'expression de ma reconnaissance à MM. de Rothschild, sans le généreux concours desquels une si grande expérience n'aurait jamais pu être faite.

II

EXPÉRIENCES DE TRANSPORT DE FORCE AU MOYEN DES MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES COUPLÉES EN SÉRIE.

Note de M. Hippolyte Fontaine, présentée par M. Mascart (*).

Depuis 1873, date de nos premières expériences sur le transport des forces par l'électricité, nous avons réalisé un grand nombre d'applications industrielles dans les usines, les arsenaux et les mines.

Ces installations comprennent généralement une machine Gramme génératrice et une réceptrice. Dans certains cas, on a employé plusieurs réceptrices d'inégales vitesses et de puissances variables, indépendantes les unes des autres. Le maximum de force utile transmise a été de 20 chevaux, et la plus grande résistance de la ligne de 8 ohms.

Le poids total des machines génératrices et réceptrices correspond à environ 200 kilogrammes par cheval transporté (*),

(*) *Comptes rendus* (26 octobre 1886).

(*) Pour certaines applications tout à fait exceptionnelles, M. Gramme est parvenu à faire des machines ne pesant, la paire, que 50 kilogrammes

et le prix du matériel est approximativement de 3 francs le kilogramme.

La Compagnie électrique, propriétaire des brevets de M. Gramme, a bien voulu, pour ces essais, mettre à notre disposition un de ses laboratoires, son matériel et son personnel.

Les machines Gramme employées ont été établies par l'inventeur sur un nouveau type appelé *type supérieur;* elles sont aussi identiques entre elles que le permet une construction industrielle.

Le générateur d'électricité est constitué par quatre machines couplées en tension et actionnées directement par deux grandes poulies au moyen de galets de friction. Les deux poulies sont calées sur un même arbre recevant le mouvement du volant de la machine motrice par l'intermédiaire d'une simple courroie. Les machines Gramme sont placées de chaque côté des poulies, de manière à équilibrer les pressions latérales sur les paliers.

L'appareil récepteur est formé de trois machines Gramme également disposées en série et reliées entre elles par des manchons élastiques, système Raffard. Un frein de Prony est posé entre deux machines de ce groupe.

L'ensemble de l'installation électrique se compose ainsi de sept machines Gramme : quatre en série, au départ, pour produire le courant, et trois en série, à l'arrivée, pour fournir le travail utilisable.

L'induit des machines est un anneau Gramme ordinaire de $0^{m},30$ de diamètre et de $0^{m},35$ de longueur, composé de 200 bobines élémentaires, enroulées sur un cercle en fil de fer; sa résistance entre les balais est de $4^{ohms},75$. L'inducteur est un électro-aimant en fer-à-cheval formé d'un seul bloc de fonte, lequel comprend : le socle de la machine, les noyaux recevant le fil, les pièces polaires et un des paliers. Le second palier est l'unique pièce rapportée dans cette construction qui se présente ainsi dans les meilleures conditions possibles de stabilité et de simplicité.

par cheval transporté; mais ces appareils sont d'un prix beaucoup trop élevé pour être employés industriellement. Il n'est question ici que d'applications courantes et essentiellement pratiques.

La résistanee de l'inducteur est de 6ohms,65. L'ensemble de la machine, induit et inducteur, a une résistance totale de 11ohms,40.

Des essais préalables ont montré : 1° qu'il ne fallait pas dépasser 11 ampères lorsqu'on voulait fonctionner sans échauffement anormal pendant vingt-quatre heures consécutives; 2° que la force électromotrice de 1.600 volts était un maximum pratique au delà duquel le rendement électrique diminuait. Cette force électromotrice correspondait à la vitesse d'environ 1.400 tours par minute.

Le rendement électrique est de 79 p. 100 à 600 tours, de 81 p. 100 à 1.400 tours.

Ayant mis les sept machines en marche et interposé entre les deux groupes une résistance de 100 ohms, nous avons, tout d'abord, constaté qu'il était possible, avec cette installation, de transporter une force de 50 chevaux dans des conditions réellement pratiques.

Pour connaître le rendement industriel, nous avons pris les diagrammes sur le cylindre de la machine à vapeur, en actionnant alternativement tantôt les machines Gramme génératrices et tantôt un frein de Prony.

De cette manière, nous avons pu estimer avec une approximation suffisante la force dépensée pendant chacune de nos expériences.

Voici les résultats obtenus le 19 octobre 1886 :

Vitesse de la machine à vapeur.	56 tours.
Vitesse des machines Gramme génératrices.	1298 tours par min.
Différence de potentiel aux bornes de la 1re machine. .	1490 volts.
— 2e — . .	1505 —
— 3e — . .	1493 —
— 4e — . .	1508 —
Différence de potentiel à l'origine de la ligne conductrice.	5896 —
Intensité du courant.	9amp,34
Résistance de la ligne.	100 ohms.
Travail sur le piston de la machine à vapeur.	112ch,8
Rendement de la machine à vapeur.	85 p. 100.
Travail reçu par les génératrices et la transmission mécanique.	95ch,88
Vitesse des machines réceptrices.	1120 tours.
Travail recueilli au frein.	49ch,98
Rendement industriel.	52 p. 100.

Dans une expérience faite le 20 octobre, en présence de M. Potier, professeur à l'École polytechnique, nous avons obtenu au frein $50^{chx},3$ avec une résistance de $99^{ohms},9$ entre les machines et les mêmes diagrammes que la veille à l'indicateur.

Ces expériences prouvent qu'il est possible de transmettre une force effective de 50 chevaux à travers une résistance de 100 ohms, avec un rendement industriel supérieur à 50 p. 100, en employant des machines électriques n'ayant aux bornes qu'une différence de potentiel de 1.500 volts.

Nous ajouterons que les sept machines Gramme employées ne pèsent en tout que 8.400 kilogrammes.

Le poids du métal, socles compris, est donc de 167 kilogrammes par force de cheval transporté à travers une résistance de 100 ohms.

III

SUR LES EXPÉRIENCES DE TRANSPORT DE FORCE COMMUNIQUÉES PAR M. FONTAINE.

Note de M. MARCEL DEPREZ (*).

M. Fontaine a soumis dernièrement au jugement de l'Académie une expérience de transmission de la force par l'électricité, faite au moyen d'un procédé qu'il croit nouveau et qui consiste à remplacer la machine génératrice et la machine réceptrice par une collection de machines accouplées en série, en nombre suffisant pour que la somme de leurs forces électromotrices atteigne la valeur qu'on veut obtenir. Dans l'expérience citée, le nombre des génératrices était de quatre et le nombre des réceptrices, de trois. Cette idée est loin d'être nouvelle; c'est même celle qui a été proposée par tous les électriciens qui ont cherché à obtenir de hautes tensions sans avoir recours à la construction des machines spéciales que j'ai réalisées le premier.

Quant au moyen employé par M. Fontaine pour commander simultanément les quatre anneaux de génératrices, il ressemble

(*) *Comptes rendus*, 2 novembre 1886.

beaucoup à celui qui est décrit dans un brevet que j'ai pris le 28 avril 1885, et où je donne précisément un exemple d'application de ce procédé à une machine à quatre anneaux de 0^{m},30 de diamètre et de 0^{m},20 de longueur, comme ceux de la machine qui avait servi aux expériences des Ateliers du Chemin de fer du Nord, en février 1883. On arrivait ainsi à réaliser un appareil dont chaque anneau pouvait donner une force électromotrice de 1.500 volts à 1.000 tours par minute, la résistance intérieure d'un anneau étant de 5^{ohms},5 et la résistance totale des quatre inducteurs étant de 15 ohms. Le poids des parties actives se décomposait ainsi qu'il suit :

Fer doux.	1124 kil.
Cuivre.	652
Total.	1776 kil.

En ajoutant 600 kilogrammes pour le bâti, on voit que l'on serait arrivé à un poids total inférieur à 2.500 kilogrammes pour une machine à quatre anneaux pouvant engendrer 6.000 volts et 10 ampères à la vitesse de 1.000 tours par minute. C'est la moitié du poids des quatre machines Fontaine. Ces résultats ne laissent place à aucun doute, puisqu'ils sont obtenus par l'addition des effets de machines identiques parfaitement connues.

Mais ce projet n'eut pas de suite, parce que les conditions imposées pour l'expérience de Creil étaient tout autres. Les machines de M. Fontaine tournent à une vitesse de 1.300 tours par minute; celles de Creil ne font que 200 tours dans le même temps; la vitesse linéaire des anneaux Fontaine est de 20^{m},50 par seconde, au lieu de 7^{m},50 qui est celle des machines de Creil. Si j'avais imprimé à ces dernières une vitesse linéaire de 20^{m},50, elles auraient donné une force électromotrice supérieure à 16.000 volts. Les conditions ne sont en aucune façon comparables, comme on le voit, et si les machines de Creil sont lourdes, c'est uniquement parce qu'on ne leur demande qu'une vitesse très petite et qu'on n'a rien fait pour les alléger. Si, dans l'industrie, on comparait les machines entre elles en prenant la légèreté comme une condition primant toutes les autres, les machines de bateaux torpilleurs seraient bien supérieures aux machines d'usine, et cependant ces dernières sont

d'un usage incomparablement plus répandu, quoique beaucoup plus pesantes par unité de force. Les raisons de cette préférence sont trop évidentes pour que je crois devoir les développer.

Dans cet ordre d'idées, l'expédient adopté par M. Fontaine est de même nature que celui d'un chef d'usine qui, aux lieu et place d'un moteur unique de 100 chevaux, à marche lente et sûre, préférerait employer quatre petits moteurs de 25 chevaux marchant à grande vitesse et agissant sur le même arbre au moyen de transmissions mécaniques ayant pour but de ralentir la vitesse.

IV

SUR LE TRANSPORT DES FORCES. RÉPONSE A M. DEPREZ.

Note de M. HIPPOLYTE FONTAINE, présentée par M. Mascart (*).

M. Deprez a présenté, mardi dernier, quelques observations sur notre Note du 26 octobre. Ces observations, qui tendent à démontrer que nos expériences ne présentent aucune nouveauté, ni dans les procédés employés, ni dans le résultat obtenu, peuvent se résumer ainsi :

1° Le procédé d'accouplement des machines n'est pas nouveau.

2° Le moyen employé pour conduire les anneaux des génératrices ressemble beaucoup à celui que M. Deprez à fait breveter le 28 avril 1885.

3° Nos machines tournent trop vite.

Nos réponses seront catégoriques :

1° Le procédé d'accouplement des machines est évidemment dans le domaine public; si MM. Gramme et d'Ivernois l'ont fait breveter en 1872, c'était uniquement pour ne pas être empêchés de l'utiliser.

2° Le moyen dont nous nous servons pour entraîner les anneaux des génératrices est identiquement le même que celui employé par MM. Chrétien et Félix dans leur installation de Sermaize pour le labourage électrique, en 1879.

(*) *Comptes rendus*, 8 novembre 1886.

3° Il est facile d'établir que la vitesse de nos machines n'a rien d'exagéré, puisqu'il existe actuellement plus de mille machines Gramme fonctionnant depuis dix ans, à la même vitesse, sans avoir eu besoin de réparations.

Ce qui caractérise nos récentes expériences, ce n'est donc pas la nouveauté des organes : c'est l'emploi des dynamos rustiques et d'éléments mécaniques bien coordonnés, formant un ensemble peu encombrant, économique à établir, facile à conduire, pratique pour tout dire en un mot.

Le résultat seul nous paraît nouveau ; le transport de 50 chevaux, à travers une résistance de 100 ohms, avec un rendement de 52 p. 100, en employant des dynamos ne pesant ensemble que 8.400 kilogrammes et n'ayant coûté que 16.450 francs.

S'il est vrai que dans l'industrie on emploie de préférence une machine de 100 chevaux allant lentement, au lieu de quatre machines de 25 chevaux d'allure rapide, c'est surtout pour réaliser une économie de combustible.

DE

L'EMPLOI DE LA CHARGE PERMANENTE

SUR LES

LIGNES DESSERVIES AU MOYEN D'APPAREILS MORSE

Un poste Morse ordinaire se compose essentiellement des éléments indiqués dans le croquis ci-dessous, qui représente l'installation de deux postes reliés par une ligne :

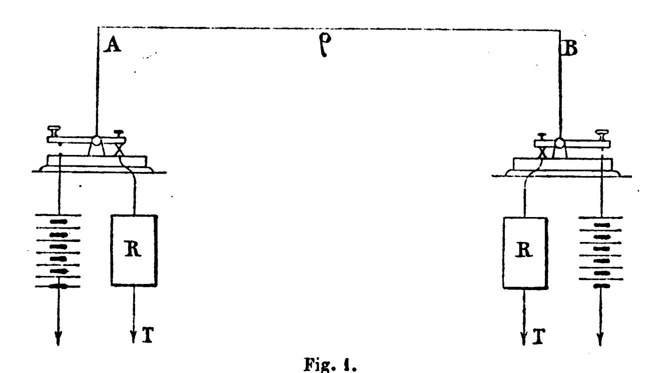


Fig. 1.

Chacun des deux postes A et B possède une pile dont le nombre d'éléments est déterminé par l'équation

$$I = \frac{nE}{\rho + R + nr}.$$

I étant l'intensité nécessaire au fonctionnement de

l'appareil, 13 milliampères par exemple; E, la force électromotrice d'un élément; r, sa résistance; ρ, celle de la ligne, et R, celle d'un récepteur.

La pile peut être transportée en un point quelconque de la ligne sans que l'intensité du courant varie.

Je considère la pile du poste A; je suppose qu'on la divise en deux parties égales, et qu'on transporte la moitié des éléments au delà du récepteur du poste B, puis qu'on fasse la même chose pour la pile du poste B, l'installation sera alors la suivante :

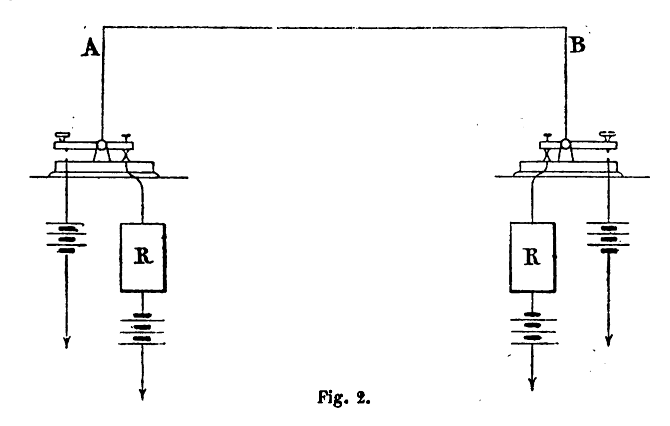


Fig. 2.

On aura quatre piles de $\frac{n}{2}$ éléments, qui donneront la même intensité que les deux piles de n éléments.

Quand la pile de transmission d'un poste travaille, sa pile de réception est au repos, et inversement. De plus ces deux piles émettent des courants de sens contraire. On peut donc se proposer de supprimer l'une d'elles, la pile de réception par exem-

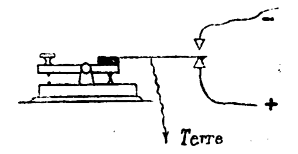


Fig. 3.

ple, et de la remplacer au moment de la réception par la pile de transmission après avoir eu soin d'en intervertir les pôles. On peut faire opérer cette inversion par le manipulateur lui-même.

Supposons qu'à l'extrémité postérieure du levier soit adapté un ressort isolé du levier au moyen d'un bloc en ébonite et que, par le mouvement du levier, ce ressort vienne toucher deux contacts (*fig.* 3).

Il suffira de mettre le ressort en communication avec le sol et les deux butoirs avec chacun des pôles de la pile pour opérer la mise à la terre de l'un ou l'autre de ces pôles suivant que le levier sera abaissé ou relevé, c'est-à-dire quand on passera de la position de transmission à celle de réception. Dès lors, le croquis de l'installation du poste est indiqué (*fig.* 4) :

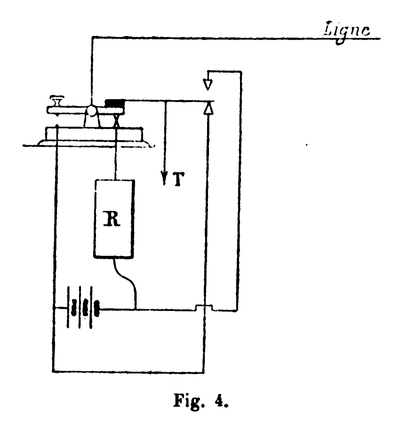


Fig. 4.

Le poste B étant constitué de la même manière, on aura réalisé une économie de la moitié du nombre d'éléments employés, puisque chaque poste n'aura plus que $\frac{n}{2}$ éléments. Supposons qu'on transmette de chaque poste au courant positif et qu'on reçoive au courant négatif émis du poste de réception.

La position de réception implique la mise à la terre du pôle positif. Le pôle négatif de la pile du poste A est en communication avec la ligne par le récepteur. Il en est de même pour le poste B. La ligne est donc

chargée par deux piles en opposition l'une à l'autre. Si leurs forces électromotrices sont égales, aucun courant ne circulera tant qu'on n'abaissera pas l'un des leviers pour produire l'inversion des pôles de la pile correspondante.

La ligne sera donc chargée continuellement, mais les piles ne s'useront pas lorsqu'on ne transmettra pas.

En pratique, on n'obtiendra pas toujours deux piles de même force électromotrice en les composant d'un même nombre d'éléments semblables. On augmentera alors la plus faible d'un nombre d'éléments juste suffisant pour que le courant qui circule sur la ligne à l'état de repos change de sens. Le courant ne sera alors dû qu'à une fraction de la force électromotrice d'un élément ; il sera donc assez faible pour qu'on puisse le considérer comme nul.

Il sera d'ailleurs insuffisant pour faire fonctionner l'un des récepteurs quand l'autre poste ne transmet pas et n'aura d'autre inconvénient que de déterminer une usure continuelle et inutile, mais très lente, de la pile la plus forte.

Si chaque poste avait primitivement sa pile spéciale, la modification décrite ci-dessus réaliserait une économie de la moitié du nombre des éléments. Dans la pratique, les piles sont souvent montées en cascades, et on ne peut songer à intervertir leurs pôles. Il est cependant deux cas particuliers qui exigent l'emploi de piles spéciales : le montage de trois postes en embrochage ou en dérivation. Il est facile d'appliquer la disposition précédente à ces deux genres d'installation.

1° *Application de la disposition précédente à trois postes montés en embrochage.*

Chacun des postes extrêmes sera installé comme il a été décrit ci-dessus.

Si n est le nombre d'éléments employés dans le montage ordinaire des postes en embrochage, ce nombre sera réduit à $\frac{n}{2}$ pour chacun des postes extrêmes. Quant au poste intermédiaire, il y a plusieurs cas à examiner.

Je suppose d'abord que ce poste soit situé exactement au milieu électrique de la ligne.

Le courant traversant toujours les bobines de deux récepteurs, le nombre d'éléments nécessaires à chaque poste dans le montage ordinaire est calculé par la formule

$$I = \frac{nE}{\rho + 2R + nr},$$

en adoptant les notations précédentes.

Pour transmettre du poste intermédiaire aux deux autres, il suffira de mettre la ligne à la terre en ce point, en effet, l'intensité du courant qui circulera sur chaque section est

$$I_1 = \frac{\frac{n}{2}E}{\frac{\rho}{2} + R + \frac{n}{2}r} = \frac{nE}{\rho + 2R + nr} = I.$$

Ce sera donc l'intensité normale.

Le croquis de l'installation du poste intermédiaire par suite est facile à établir, en se servant du manipulateur modifié :

Le nombre primitif des éléments était de n à chaque poste, ce qui fait au total $3n$ éléments. Ce nombre

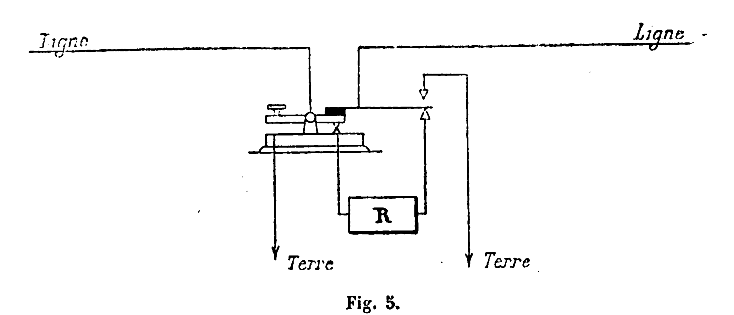


Fig. 5.

sera réduit à $\frac{n}{2}$ pour chacun des postes extrêmes et à 0 pour le poste intermédiaire. Le nombre total sera donc n; on aura réalisé une économie des 2/3 des éléments.

Si le poste intermédiaire n'est pas au milieu électrique de la ligne, on ne peut adopter la disposition précédente, puisque le courant serait trop fort sur une des sections et trop faible sur l'autre. Pour y remédier, il suffit de mettre une pile supplémentaire au poste intermédiaire sur la section la plus résistante et une bobine de résistance sur l'autre section.

Soit ρ' la résistance de la ligne entre le poste intermédiaire et le milieu électrique de cette ligne prise entre les deux postes extrêmes.

Les résistances de chaque section sont :

$$\frac{\rho}{2} + \rho',$$

$$\frac{\rho}{2} - \rho'.$$

Soit n' le nombre d'éléments à mettre au poste inter

médiaire sur la section la plus résistante, on devra avoir

$$I = \frac{\left(\frac{n}{2} + n'\right)E}{\frac{\rho}{2} + \rho' + R + \left(\frac{n}{2} + n'\right)r} = \frac{nE}{\rho + 2R + nr},$$

et, puisque l'augmentation de la pile est due à la résistance ρ', l'équation se simplifie

$$I = \frac{n'E}{\rho'} = \frac{nE}{\rho + 2R + nr}.$$

en négligeant la résistance $n'r$ très faible de la pile supplémentaire.

On aurait pu l'obtenir directement en multipliant par 2 les deux termes du premier membre de l'équation précédente et retranchant les deux fractions membre à membre. On a donc

$$n' = n \frac{\rho'}{\rho + 2R + nr}.$$

n' sera d'autant plus faible que ρ' le sera.

En tous cas, il sera toujours inférieur à $\frac{n}{2}$, puisque ρ' est inférieur à $\frac{\rho}{2}$.

Il serait même encore inférieur à $\frac{n}{2}$ si le poste intermédiaire était tellement près d'un des postes extrêmes que la résistance de la section correspondante puisse être considérée comme nulle. Sa limite maxima est, dans le cas où $\rho' = \frac{\rho}{2}$,

$$N' = \frac{n}{2} \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{R}{\rho} + \frac{n}{2}\frac{r}{\rho}}.$$

Quant à la résistance à mettre sur l'autre section, il est clair qu'elle doit être égale à ρ'.

Le poste intermédiaire sera alors installé de la façon suivante :

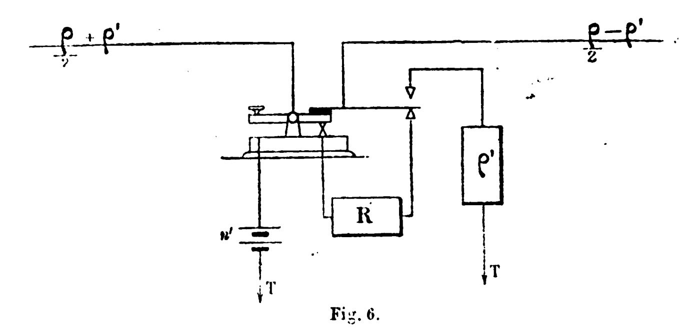


Fig. 6.

Le nombre total des éléments à employer sera donc toujours sensiblement le tiers du nombre primitif, et ne pourra jamais atteindre la moitié de ce nombre.

L'intensité du courant sera, comme dans le montage ordinaire, toujours la même, que ce soit le poste intermédiaire qui transmette ou l'un des postes extrêmes et il n'y aura jamais à modifier le réglage des appareils.

En résumé, l'économie d'éléments dans le montage des postes par embrochage sera encore plus grande que dans la communication entre deux postes simples.

2° *Dérivation.*

L'avantage du procédé dans le montage des postes en dérivation est beaucoup plus faible. Toutefois, il est à la rigueur possible de l'employer, quoique ce système exige des modifications importantes à l'installation ordinaire.

La difficulté principale à vaincre consiste dans l'appel individuel de chacun des postes secondaires montés en dérivation sur un fil partant du poste principal.

On emploie ordinairement à cet effet les deux sens de courant, l'un pour un poste, l'autre pour l'autre et des rappels par inversion.

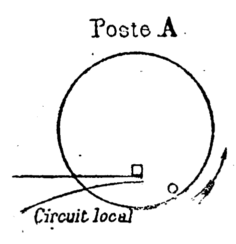


Fig. 7.

La charge permanente nécessite l'emploi d'un courant toujours de même sens. On doit donc chercher de quelle manière le poste principal pourrait appeler à volonté l'un ou l'autre seulement de ses correspondants.

Soit A et B les deux postes secondaires.

Je me propose d'appeler A au moyen d'une série de courants assez courts, et B au moyen d'un courant long et unique.

L'appel se fera dans chaque poste par la fermeture d'un circuit local.

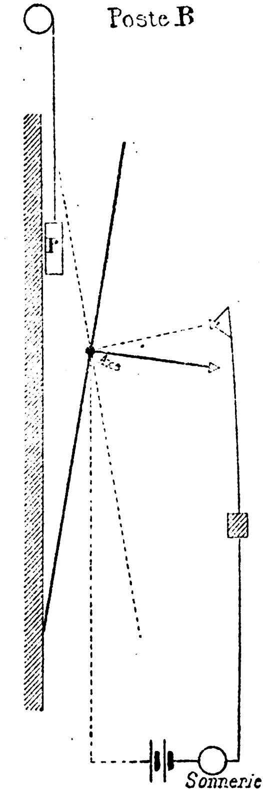


Fig. 8.

Le récepteur d'appel du poste A se compose des éléments essentiels du récepteur à cadran : la série de courants fait tourner une roue, et, quand cette roue a décrit un certain angle, un butoir vient fermer le circuit local.

Il est inutile d'insister sur les détails faciles à réaliser, et on voit qu'un courant long et unique ne déplaçant la roue que d'un angle très faible, l'appel ne se produira pas.

Quant au poste B, le courant qui y arrive permet à un poids de tomber. Si ce courant est long, le poids acquiert bientôt une grande vitesse et franchit l'espace nécessaire pour fermer le circuit local en faisant basculer un levier muni d'un appendice qui vient s'engager dans une échancrure portée par un ressort (*fig.* 8). Au contraire, par une succession de courants très courts, le poids est constamment arrêté dans sa chute, et ne tombe à chaque émission que d'une hauteur très faible.

Le poids est arrêté dans sa chute par un tambour sur lequel s'enroule la corde qui le supporte. A ce tambour est adapté une roue entre les dents de laquelle s'engage un butoir fixé au levier de l'armature. Quand celle-ci est attirée, le butoir quitte les dents de la roue qui est libre tant que le courant passera.

Aussitôt que le poste A ou le poste B a été appelé, il ramène son rappel dans la position primitive.

Il est d'ailleurs facile de l'y obliger :

1° Pour le poste A, le butoir porté sur la roue est arrêté par un taquet fixé à l'extrémité du ressort : une fois le courant établi, la sonnerie fonctionnera tant qu'on n'aura pas ramené à la main la roue en arrière ;

2° Pour le poste B, le poids dans sa chute fait osciller un levier qui s'appuie ordinairement par sa partie inférieure sur un plan vertical et qui vient s'y appliquer par sa partie supérieure jusqu'à ce qu'on ait remonté le poids.

Dans tout l'intervalle, la sonnerie aura fonctionné.

L'appel individuel de A ou B par le poste principal est donc résolu, mais il est clair que quand A ou B transmettra au poste principal, il appellera l'autre poste secondaire au bout d'un certain temps. Pour

remédier à cet inconvénient, il suffit de donner aux récepteurs d'appel de A et B une très grande résistance, de manière que le courant émis par A aille presque en entier vers le poste principal, et que l'intensité du courant qui arrive à B soit trop faible pour attirer l'armature.

Avec les appareils ordinaires, la résistance des trois branches de la ligne à partir du point de concours est la même : soit R cette résistance qui comprend la ligne et un récepteur ordinaire.

Si on donne aux récepteurs d'appel une résistance telle que le total de la branche correspondante soit égal à 3 R, les trois quarts de l'intensité du courant émis par A arriveront au poste principal, et le quart seulement à B.

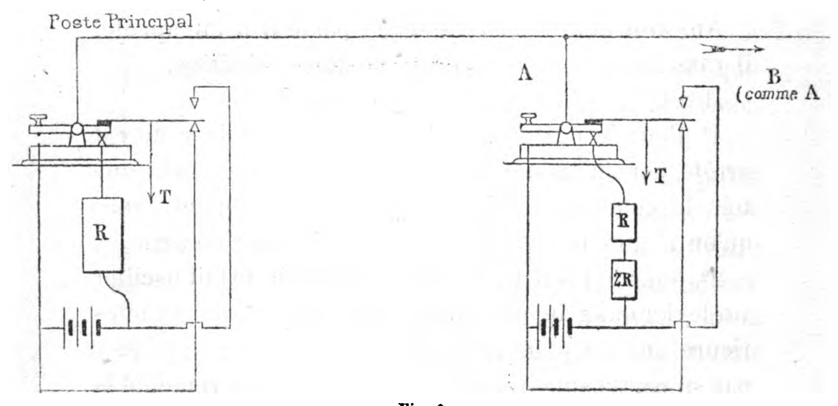


Fig. 9.

Il est d'ailleurs évident que la résistance supplémentaire à mettre en A et B peut être réalisée au moyen de bobines placées à la suite du récepteur d'appel ou être constituée par ce récepteur même.

Je vais calculer le nombre total des éléments à

employer : soit n le nombre dans l'installation primitive, R' la résistance d'un récepteur

$$I = \frac{1}{2} \frac{nE}{(R - R') + \frac{R}{2}},$$

en négligeant la résistance de la pile.

Soit n' le nombre d'éléments à mettre à chaque poste.

Quand le poste principal aura appelé l'un des deux autres, A par exemple, ce dernier se mettra sur l'appareil et la branche correspondante deviendra R au lieu de 3R, celle de B restant 3R.

L'intensité du courant arrivant en A sera :

$$I = 2 \frac{3}{4} \frac{n'E}{(R - R') + \frac{3R}{4}} = \frac{1}{2} \frac{nE}{(R - R') + \frac{R}{2}},$$

puisque ce doit toujours être l'intensité normale

$$n' = \frac{1}{3} n \frac{R - R' + \frac{3R}{4}}{(R - R') + \frac{R}{2}} = \frac{n}{3} k,$$

la fraction que je désigne par k est supérieure à 1.

$$k - 1 = \frac{\frac{R}{4}}{\frac{3R}{2} - R'} < \frac{\frac{R}{4}}{\frac{3R}{2} - R},$$

$$k - 1 < \frac{1}{2},$$

$$k < \frac{3}{2}.$$

Donc

$$n' < \frac{n}{2},$$

et sera d'autant plus faible que la ligne sera plus longue, c'est-à-dire R plus grand par rapport à R'.

Supposons qu'on prenne un excès d'éléments, et qu'on fasse

$$n' = \frac{n}{2}.$$

Je vais chercher quelle sera l'intensité du courant d'appel d'un poste secondaire par le poste principal, je la désigne par I_a,

$$I_a = \frac{1}{2} \frac{nE}{(R - R') + \frac{9R}{6}};$$

or

$$I = \frac{1}{2} \frac{nE}{(R - R') + \frac{R}{2}}.$$

Donc

$$\frac{I}{I_a} = \frac{\frac{5R}{2} - R'}{\frac{3R}{2} - R'},$$

$$\frac{I}{I_a} < \frac{\frac{5R}{2} - R}{\frac{3R}{2} - R},$$

$$\frac{I}{I_a} < 3.$$

Donc l'intensité du courant d'appel sera toujours supérieure au tiers de celle du courant de transmission; or, comme les récepteurs d'appel ont une grande résistance, et que, par suite, il se développera dans les noyaux des bobines une forte aimantation, il est clair qu'on pourra les régler de manière que ce courant suffise à attirer l'armature, et qu'un courant moitié moindre, c'est-à-dire celui qui arrivera pendant la transmission à l'autre poste, soit insuffisant.

Je me suis occupé :

1° De la transmission par le poste principal à un poste secondaire;

2° De l'appel d'un poste secondaire par le poste principal.

Quand un poste secondaire, A par exemple, transmettra au poste principal, l'intensité du courant se partagera comme dans le premier cas, et le poste principal en recevra les trois quarts. Par conséquent, le nombre n' d'éléments est suffisant pour les postes secondaires comme pour le poste principal, puisque ce nombre n' a été calculé pour des résistances égales à R et 3R.

En résumé, la charge permanente peut être employée :

1° Pour une communication simple entre deux postes, avec économie de la moitié des éléments de pile ;

2° Pour une communication par embrochage entre trois postes, avec une économie supérieure à 1/2 et pouvant atteindre 2/3 ;

3° Pour une communication entre trois postes montés en dérivation, avec économie de la moitié des éléments en service.

On pourra, d'une manière générale, appliquer ce système à toutes les installations qui n'exigent pas l'emploi des deux sens de courant.

Il en résultera une économie de matériel, une plus grande facilité pour loger les piles et un entretien moins coûteux.

C'est donc dans la communication par embrochage que ce procédé présente le plus d'avantages, et il ne nécessite que de faibles modifications au manipulateur.

E. Bouchard,
Sous-Ingénieur des Télégraphes.

NOTE

SUR L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

DE LA VILLE DE DOMFRONT

La ville de Domfront (Orne) est éclairée à la lumière électrique depuis le mois d'août dernier. Voici une description sommaire des machines, des lampes et des appareils accessoires employés, ainsi que des communications intérieures et extérieures.

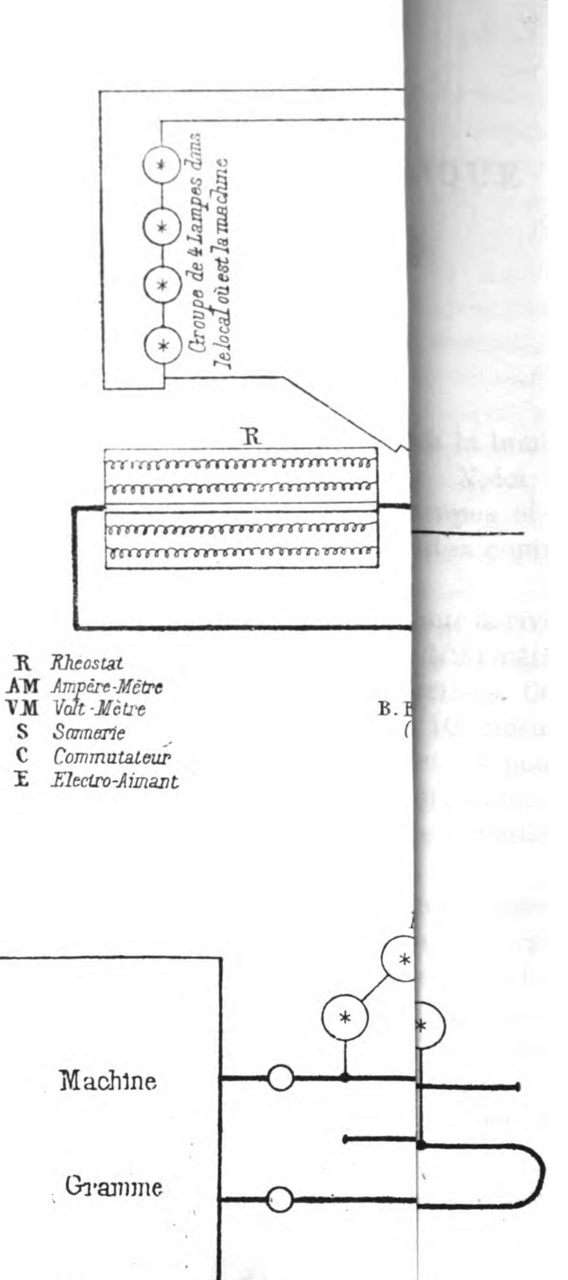
Force motrice. — Une turbine, installée sur la rivière la Varenne, actionne une pompe qui élève, à 90 mètres, l'eau à distribuer dans les différents quartiers. Cette même turbine, dont la force est d'environ 10 chevaux, met en mouvement la dynamo. A cet effet, la pompe cesse de fonctionner pendant la période journalière d'éclairage. Une machine à vapeur de secours est d'ailleurs à proximité.

Machine électrique. — C'est une dynamo Gramme à courant continu, à *excitation simple ou en série* (*) (type d'atelier — prix 1.700 fr.). A une vitesse de 1.400 tours à la minute, elle absorbe une force de 7 chevaux.

L'intensité est de 10 ampères 1/2 quand elle a atteint sa valeur de régime.

Aux bornes, le maximum de la différence de potentiel et de 420 volts.

(*) Voir *Annales télégraphiques*, septembre-octobre 1886, p. 401.


Groupe de 4 Lampes dans
le local où est la machine
R
R Rheostat
AM Ampère-Mètre
VM Volt-Mètre
S Sonnerie
C Commutateur
E Electro-Aimant
Machine
Gramme

Conducteurs. — Ils sont formés de fils de cuivre d'un diamètre de $3^{mm},4$ pour le circuit principal, et de $1^{mm},8$ pour les dérivations. Leur développement total est le suivant :

Fil de $3^{mm},4$.	$3^{k},600$
Fil de $1^{mm},8$.	$6^{k},800$

Les supports sont des isolateurs à simple cloche et des poulies en porcelaine de petit diamètre.

Lampes. — Les lampes utilisées sont les lampes à incandescence d'Edison, du type A, coûtant 5 francs l'une, et ayant un pouvoir éclairant égal à 16 bougies.

Leur résistance électrique à chaud est de 135^{ω}; la force électro-motrice correspondante est de 96 volts.

Elles sont au nombre de 56, placées en dérivation par groupe de 4 en tension. Il existe donc 14 groupes.

Installation de la dynamo et des appareils accessoires. — La *fig.* 1 reproduit cette installation :

C est un commutateur;

R, un rhéostat dont les résistances sont formées de spirales en maillechort de 1 millimètre de diamètre;

AM, un ampère-mètre;

VM, un volt-mètre placé en dérivation sur le circuit des quatre lampes dans le local de la machine (*lampes-témoins*), et accusant, par conséquent, la valeur de la force électro-motrice disponible sur le circuit extérieur.

L'ampère-mètre reste constamment dans le circuit. Le volt-mètre, au contraire, grâce à un interrupteur B, n'y est intercalé que lorsqu'on veut avoir recours à ses indications.

P, est une planchette sur laquelle est fixé un électro-aimant E. Le noyau de fer doux peut glisser très librement dans la bobine où il n'est engagé qu'en

partie, comme l'indique la figure. Il est soutenu dans cette position par un fil de laiton relié à un levier L oscillant en O, et s'appuyant, en temps normal, sur la vis V. Un ressort *r* sollicite le levier de bas en haut.

Une pile de 2 éléments a ses pôles attachés l'un au levier, l'autre à la borne *b*; la borne *b'* communique avec la vis V'. Enfin une sonnerie S aboutit en *b* et *b'*.

Le courant fourni par la machine traverse l'électro-aimant, et le réglage du levier est tel que celui-ci repose sur la vis V. Si l'une des lampes vient à brûler, son charbon se rompt, et elle s'éteint ainsi que les trois autres du même groupe; l'intensité augmente dans le circuit sur lequel était placée cette dérivation, et il en résulte que l'aimantation développée par E est plus forte, ce qui produit un léger soulèvement du noyau de fer doux. Alors, le levier, entraîné par le ressort *r*, bute contre la vis V', ferme le circuit de la pile et fait fonctionner la sonnerie. On est donc averti de l'accident. En attendant qu'il soit réparé, on se hâte d'introduire des résistances convenables, afin d'éviter de nouvelles détériorations rendues possibles par l'accroissement d'énergie du courant.

Circuit extérieur. — Le circuit principal se compose de deux conducteurs supportés par des poteaux ou des potelets et traversant la Ville dans le sens de sa plus grande longueur.

L'un part du pôle positif et s'arrête au point terminus; l'autre est attaché au pôle négatif, arrive au même point, et revient à la machine où il est isolé (voir *fig.* 2).

Les groupes de lampes sont installés en dérivation sur ces fils. Il est facile de voir que, grâce à cette disposition, ils offrent au courant une résistance très

sensiblement la même pour chacun d'eux, qu'ils soient près de la machine ou à l'extrémité opposée de la ligne.

Fonctionnement du système. — Le fonctionnement de l'éclairage est satisfaisant. Chaque lampe, pourvue d'un réflecteur, fournit une lumière à peu près équivalente à celle d'un bec de gaz ordinaire. Le résultat pourrait cependant être meilleur si les poulies en porcelaine étaient remplacées par des isolateurs à cloche, et si surtout les raccords des bouts de fils étaient effectués à l'aide de manchons, ou par des ligatures soudées avec soin.

La force disponible que la machine serait encore susceptible d'absorber permettrait, s'il était nécessaire, d'alimenter un plus grand nombre de lampes.

Quoi qu'il en soit, cette tentative, qui a d'ailleurs réussi, m'a paru intéressante, et méritait, je crois, d'être signalée aux lecteurs des *Annales télégraphiques*.

VILLENEUVE.

CHRONIQUE.

De la mesure des températures élevées par les couples thermo-électriques.

par M. H. Le Chatelier (*).

La mesure par le thermomètre à air des températures supérieures à 500° présente de telles difficultés que, parmi les déterminations nombreuses faites jusqu'ici, il n'en est peut-être pas une douzaine pour lesquelles on puisse compter sur une approximation de plus de 100°. Aussi, faut-il, dans les recherches de chimie, pour lesquelles la connaissance exacte des températures présenterait cependant une grande importance, se contenter dans la plupart des cas de déterminations faites de sentiment.

L'emploi des couples thermo-électriques pour la mesure des températures élevées a été proposé, dès 1836, par Becquerel et Pouillet. Ce procédé, d'un usage très commode par suite du petit volume de l'appareil thermométrique, passe pour être peu exact et n'a jamais été employé que d'une façon accidentelle par quelques observateurs isolés.

Je me propose de montrer ici que la condamnation de cette méthode de saurait en aucune façon être justifiée, et que les mauvais résultats obtenus jusqu'ici tiennent surtout au choix défectueux des couples employés. Par un hasard fâcheux, tous les savants qui ont étudié cette question se sont servis du fer ou du palladium qui sont peut-être de tous les métaux ceux qui conviennent le moins pour un semblable usage.

Appareils galvanométriques. — J'ai employé pour cette étude un galvanomètre apériodique de MM. Deprez et D'Arsonval qui avait une résistance intérieure de 250^{ω} et donnait sur l'échelle un déplacement de 100 millimètres pour 1/100 de volt. La résistance des couples ne dépassait guère 2ω; la variation irrégulière de leur résistance, par suite de l'échauf-

(*) Extraits d'une note présentée à la Société française de physique.

fement, ne pouvait donc entraîner des erreurs supérieures à quelques millièmes. Cet appareil donne des indications assez rapides pour permettre de faire des mesures dès que la température reste stationnaire pendant cinq secondes. Il ne permet pas d'obtenir une proportionnalité rigoureuse entre les lectures de l'échelle et l'intensité des courants; mais, dans l'appareil que j'avais entre les mains, cette proportionnalité se vérifiait à 1 p. 100 près entre les divisions 10 et 150 de l'échelle.

Pour mesurer les petites déviations, j'ai remplacé avec grand avantage l'échelle transparente de M. Carpentier, qui ne permet guère de faire les lectures à plus de $0^{mm},25$, par une pointe mobile portée sur un palmer, disposition qui décuple la précision des lectures. Un ressort en caoutchouc maintient pressée contre l'extrémité de la vis la pièce mobile qui porte la pointe. La règle et le palmer peuvent en un instant se substituer l'un à l'autre sur le même support.

Points fixes de graduation. — La détermination des températures auxquels sont portés les couples étudiés doit évidemment être faite au moyen du thermomètre à air; mais celui-ci peut être employé soit directement en le plaçant à côté des couples, soit indirectement en se servant des points de fusion ou d'ébullition antérieurement déterminés. C'est la seconde méthode que j'ai préférée; elle est de beaucoup la plus rapide et en même temps la plus exacte, puisqu'elle permet d'utiliser les mesures de températures effectuées par les observateurs les plus habiles. Voici les points fixes qui m'ont servi; ils sont, pour les températures élevées, empruntés exclusivement aux déterminations de M. Violle :

Température.	Fusion.	Ébullition.
100°	»	HO
325	Pb	»
358	»	Hg
415	Zn	»
448	»	S
665	»	Se
945	Ag	»
1.045	Au	»
1.054	Cu	»
1.500	Pd	»
1.775	Pt	»

Ces divers points ne sont pas tous d'un usage aussi commode. Le point de fusion du zinc paraît présenter une anomalie semblable à celle que présente le soufre. En échauffant rapidement ce métal de façon à dépasser son point de fusion, et le laissant refroidir ensuite, on observe un intervalle de 15° entre le point de fusion et celui de solidification; mais, si une fois solide on le réchauffe immédiatement, la même anomalie ne se produit plus. Le point de fusion de l'argent m'a paru également un peu variable; cette anomalie pourrait résulter de la proportion plus ou moins grande d'oxyde d'argent que le métal fondu tient en dissolution et qui est la cause du rochage.

Enfin les trois métaux Zn, Ag et Cu ont le grave inconvénient d'émettre, dès leur point de fusion, une quantité suffisante de vapeur pour altérer rapidement le platine des couples. Le soufre et surtout le sélénium altèrent si rapidement le palladium que ce métal ne peut pas être plongé dans la vapeur de ces corps. Il n'en est pas de même pour le platine et les alliages de ce métal dont l'altération est insensible dans les mêmes conditions.

Pour faire l'observation des points de fusion, le couple, entouré d'une mince feuille du métal expérimenté, était placé au milieu d'un creuset chauffé dans un four Forquignon, et l'on saisissait au passage le point d'arrêt du fil mobile pendant la fusion. Dans le cas où le métal était le platine, c'est-à-dire un des éléments du couple, on reconnaissait la fusion à la rupture du circuit.

Étude des irrégularités des couples. — Le reproche le plus grave fait à l'emploi des couples thermo-électriques est leur irrégularité; placés dans des conditions identiques de température, ils ne donneraient pas les mêmes indications.

J'ai pensé que par une étude convenable des causes de ces irrégularités on pouvait soit en calculer l'influence, soit même arriver à les annuler. Le dernier résultat me semble pouvoir être obtenu, en grande partie du moins, par un choix convenable des métaux constituant les couples.

Défaut d'homogénéité des couples. — Un fil préparé avec un métal dépourvu d'homogénéité, formé en quelque sorte par la juxtaposition de tronçons de nature différente, ne peut évi-

demment pas donner de couples restant comparables à eux-mêmes, puisque alors la force électromotrice dépend de la répartition éminemment variable de la température le long de ce fil. L'homogénéité est donc la première et la plus importante des conditions à réaliser, et pourtant dans les expériences faites jusqu'ici on ne s'est jamais préoccupé de ce côté de la question.

J'ai étudié l'homogénéité des fils en les chauffant après recuit, sur une longueur de 15 millimètres, à une température voisine de 700°. La source de chaleur était déplacée progressivement sous le fil tendu horizontalement et l'on notait les déviations produites ainsi sur le galvanomètre. Le *palladium*, le premier métal que j'aie ainsi étudié, m'a donné des déviations importantes variant de sens d'un point à l'autre du fil. Pensant que le défaut d'homogénéité du métal ainsi accusé tenait à son mode de préparation (forgeage de mousse métallique), j'ai essayé des fils préparés avec du métal fondu; mais les résultats n'ont pas été meilleurs. Je donne ici le détail d'une expérience faite avec un semblable fil chauffé à des points équidistants de 5 millimètres :

Longueur du fil.	Déviations.	Longueur du fil.	Déviations.
°	mm	°	mm
0,05	— 2,0	0,40	— 0,5
0,10	+ 2,5	0,45	0,0
0,15	— 1,5	0,50	— 1,0
0,20	—10,0	0,55	+ 3,0
0,30	— 5,0	0,60	0,0
0,35	— 2,0	0,65	— 0,2
		0,70	0,0

On se rendra compte de l'importance des forces électromotrices dues à ce manque d'homogénéité en les rapprochant de celles qui sont développées par le couple platine-palladium. Ce dernier donne, en effet, une déviation de 5 millimètres pour une élévation de température de 100° de la soudure chaude.

Les essais sur le fer n'ont pas été plus satisfaisants; tous les échantillons des fils de fer essayés (fer puddlé, Bessemer basique ou acide extra-doux) ont manifesté des anomalies semblables à celles du palladium. Aucun de ces deux métaux, *fer* et *palladium*, ne saurait donc convenir pour la confection des

couples thermo-électriques destinés à la mesure des températures.

J'ai étudié ensuite des fils de *platine pur* ou allié au *rhodium*, à l'*iridium* et au *cuivre* préparés avec du métal *fondu*. Ils se sont montrés tous d'une homogénéité remarquable; les plus fortes déviations n'ont pas atteint 1 millimètre. A ce point de vue spécial ces métaux et alliages conviennent également bien pour la confection des couples.

L'*écrouissage* des métaux altère plus ou moins les propriétés thermo-électriques. J'ai reconnu que cet effet était sensiblement nul pour le *palladium* et le *platine pur*, très faible pour l'alliage de *platine rhodié* qui présente seulement des écarts de 1 à 2 pour 100 entre les déviations obtenues avec le métal sortant de la filière ou recuit au blanc. Pour le *fer*, au contraire, et les alliages de *platine iridié*, l'effet de l'écrouissage, est énorme. Avec un alliage de platine iridié à 20 pour 100 j'ai obtenu les résultats suivants :

	HO bouillante.	Fusion du zinc.
	mm	mm
Métal sortant de la filière	11,00	»
Métal recuit au rouge sombre	12,00	»
Métal recuit au blanc	13,00	»
Métal écroui par des torsions successives.	11,65	72
Métal recuit au blanc	12,40	78

Ce tableau montre, de plus, qu'on ne peut pas ramener par le recuit à un état toujours identique à lui-même un métal susceptible de s'écrouir.

Trempe. — Je rappelle pour mémoire que le fer, même légèrement carburé, comme le sont les fers les plus purs, éprouve encore par la trempe une modification profonde de ses propriétés thermo-électriques. Je n'ai rien observé de semblable avec les autres métaux que j'ai étudiés.

Le *mode de jonction des fils* semblait, d'après les expériences de Regnault, jouer un rôle dans les propriétés des couples. J'ai reconnu qu'il n'en était rien pour le platine et les métaux analogues. Un couple platine rhodié, par exemple, réuni par torsion, forgeage à chaud, soudure autogène, soudure au palladium ou à l'or, placé dans les mêmes conditions, donne les mêmes indications. Les résultats obtenus par Regnault tien-

nent à ce que l'un des métaux de son couple était le fer qui ne peut subir l'élévation de température que nécessite le forgeage ou le soudage sans que ses propriétés en soient altérées.

La *nature des gaz* dans lesquels le couple est placé ne m a pas paru avoir d'influence sur ses indications. Il semble pourtant difficile que l'hydrogène, si facilement condensé par le platine, n'en modifie pas un peu les propriétés; mais cette influence est sans doute trop faible pour se dégager au milieu des incertitudes des expériences qui s'élèvent environ à 1 p. 100 de la valeur des déviations observées.

L'ensemble de ces expériences m'a donc amené à conclure qu'il était possible de construire un couple restant comparable à lui-même en employant comme métaux le *platine pur* fondu et le *platine rhodié* à 10 p. 100 également fondu, et que cet alliage était le seul remplissant les conditions voulues parmi ceux que j'avais étudiés.

Ce couple permet d'obtenir la mesure des températures inférieures à 1.200° avec une approximation d'environ 10°, c'est-à-dire supérieure à celle que peut donner le thermomètre à air lorsqu'il est employé d'une façon courante, comme il peut l'être dans les recherches de chimie où la mesure des températures n'est souvent qu'un côté accessoire des études poursuivies.

Pour obtenir cette précision, il est utile de faire cette graduation du couple dans le cours même des expériences pour éviter l'influence des variations de température sur la résistance du cadre du galvanomètre.

Essais faits en Belgique sur les conducteurs en cuivre (*).

L'administration belge a fait établir, à titre d'essai, entre Anvers et Bruxelles (44 kilom.), deux fils de bronze, dans l'été de 1883, c'est-à-dire antérieurement à toute décision sur la mise en pratique du système anti-inducteur de notre com-

(*) Extrait d'une communication de M. J. Banneux, à la Société belge d'électriciens, 1886.



patriote, et bien longtemps avant la publication des recherches du professeur Hughes sur la self-induction; l'essai fut continué en 1884 sur une longueur de 39 kilomètres, à l'occasion de la pose d'un nouveau conducteur du service franco-belge; une ligne aérienne nouvelle de 11 fils, partie en bronze phosphoreux, partie en cuivre dur, vient d'être achevée entre Schaerbeek et Louvain, sur une distance de 26 kilomètres environ; enfin deux autres fils de haute conductibilité, d'un développement de plus de 80 kilomètres, et destinés à la correspondance téléphonique Bruxelles-Verviers, ont pris dernièrement la place, entre Louvain et Tirlemont et entre Liège et Verviers, de conducteurs en fer du service télégraphique belge-allemand. En y ajoutant une série de petites lignes établies surtout dans les villes, on compte aujourd'hui, dans le réseau de l'État, 440 kilomètres de fils de bronze phosphoreux et 150 kilomètres de fils de cuivre dur.

Voici un nouveau produit d'une faible résistance sous un petit diamètre, d'une légèreté très avantageuse à tous égards et d'une ténacité que l'on peut, à volonté, selon les conditions spéciales à remplir, rendre égale à celle du meilleur acier (80 kilog. par millim. carré) ou, même, pour une conductibilité de 98 p. 100, supérieure à celle du bon fer recuit au bois (40 kilog.). L'usine d'Anderlecht est parvenue à livrer couramment des tréfilés de bronze d'une grande régularité de fabrication; elle ne laisse sortir aucun rouleau sans l'avoir soigneusement soumis à toutes les épreuves mécaniques et électriques désirables; on nous promet, d'autre part, pour ces fils, une durée de beaucoup supérieure à celle du fer et de l'acier galvanisé. Il y a là un ensemble de qualités et de garanties extrêmement favorables à un emploi étendu du bronze phosphoreux et une justification de la préférence que lui accordent tous nos concessionnaires de réseaux téléphoniques; j'ajouterai que l'administration des télégraphes a adopté cet alliage pour le réseau téléphonique actuellement en construction à Ostende.

Mais la différence des prix du bronze et du fer galvanisé est assez notable pour qu'une grande administration ne proscrive pas *hic* et *nunc*, le fer d'une façon absolue. En réalité, le coût d'un tréfilé de bronze de $1^{mm},40$, par exemple, est de près de

50 p. 100 plus élevé aujourd'hui que celui d'un fil de fer galvanisé de 4 millimètres d'égale résistance électrique. Au point de vue des charges annuelles d'exploitation, la question revient à savoir quelle doit être la durée du bronze, encore inconnue, qui égalise les annuités, la durée du fer galvanisé de 4 millimètres pouvant être fixée à 25 ans. L'écart des prix s'abaisse notablement et est susceptible de disparaître si l'on envisage le coût de l'établissement d'une ligne nouvelle, où l'on est maître, à raison de la légèreté et de la ténacité du bronze, de diminuer le nombre et la solité des points d'appui, et, par conséquent, la dépense en matériaux, en transports et main-d'œuvre. Dans le cas de lignes télégraphiques à construire le long des chemins de fer, les portées doivent être généralement inférieures à celles auxquelles la résistance mécanique des fils se prête, à cause de l'obligation où l'on est de régler la flèche maxima pour un certain écartement du gabarit des wagons chargés et sur l'espace libre au-dessus du sol.

Voici quelques résultats de mesures faites par l'administration belge sur les fournitures de fils de bronze de l'usine d'Anderlecht :

NOMBRE d'échantillons	DIAMÈTRE mesuré		POIDS de 1 kilomètre		CONDUCTIBILITÉ p. 100 du cuivre pur		CHARGE TOTALE de rupture		ALLONGEMENT p. 100	
	Limites	Moyenne	Limites	Moyenne	Limites	Moyenne	Limites	Moyenne	Limites	Moyenne
a) Fil de 1mm,40 de diamètre, pour réseaux téléphoniques locaux, devant présenter, d'après le contrat, une résistance minima de 75 kilogr. par millim. carré à la rupture et une conductibilité minima de 30 p. 100.										
	millim.	mm	kilogr.	kg			kilogr.	kg		
34	1,40 - 1,47	1,427	14,061 - 15,284	14,376	29.13 - 31,9	30,647				
19	»	»	»	»	»	»	140 à 150	144,26		
28	»	»	«	»	›	»	»	»	1,3 à 2,3	1,63
Densité à 0° C = 8,92 ; coefficient de variation de résistance par degré centigrade : 0,0012.										
b) Fil de 1mm,60 de diamètre ; minima : 95 p. 100 de conductibilité et 45 kilogr. par millim. carré.										
29	1,58 - 1,63	1,60								
25	»	»	15,489 - 18,613	17,650						
27	»	»	»	»	95,80 - 99,40	98,04				
31	»	»	»	»	»	»	93,01 à 102,76	95,088		
30	»	»	»	»	»	»	»	»	1 - 1,67	1,36
Densité à 0° C : 8,92 ; coefficient de variation de résistance par degré centigrade : 0,0034 environ.										
c) Fil de 2 millim. de diamètre, minima : 95 p. 100 de conductibilité et 45 kilogr. par millim. carré.										
8	1,99 - 2,05	2,016	27,743 - 29,441	28,475	96,30 - 99,25	97	148,89 - 156,38	151,60	1,04 - 2,18	1,55

Le cuivre à l'état recuit, employé au début de la télégraphie et abandonné pour le fer à cause de son haut prix et de sa faible ténacité (28 à 30 kilog. par millim. carré) a retrouvé dans ces derniers temps une nouvelle faveur, grâce à la profonde dépréciation des cours et à l'augmentation de résistance qu'il offre lorsqu'il est étiré dur. Son prix actuel se compare très favorablement avec celui du fer galvanisé de même résistance électrique. Quant à ses qualités d'emploi, une expérience suffisamment prolongée peut seule décider de sa valeur relative comme matériel de construction de ligne et conducteur de courants.

Des échantillons tirés d'une fourniture de provenance anglaise ont donné les résultats suivants :

Fil de $2^{mm},057$ de diamètre : poids moyen du kilomètre, $29^k,702$; variant de $29^k,588$ à $29^k,875$; conductibilité moyenne : 96,49 p. 100 entre les limites de 92,8 à 98,02 ; résistance à la rupture par millimètre carré : $41^k,75$, variant entre $40^k,87$ et $42^k,23$.

Valeur actuelle des éléments magnétiques à l'Observatoire du parc St-Maur.

Les valeurs absolues des éléments magnétiques au 1er janvier 1887, déduites de la moyenne des observations horaires relevées au magnétographe pendant les journées du 31 décembre 1886 et du 1er janvier 1887, qui n'ont pas eu de perturbation, sont les suivantes :

Déclinaison occidentale.	15° 57',2
Inclinaison.	65° 15',6
Composante horizontale.	0,19443
Composante verticale.	0,42196
Force totale.	0,46460

L'observatoire est situé par 0° 9' 23" de longitude est et 48° 48' 34" de latitude nord.

(*Comptes rendus.*)

L'Éd.-Gérant DUNOD — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1887 **Mai-Juin**

NOTE

SUR LA SITUATION DU RÉSEAU DE PARIS

DE LA SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DES TÉLÉPHONES

AU 1er JANVIER 1887

Nombre d'abonnés. — Les abonnés, reliés au réseau pendant l'année écoulée, sont au nombre de 565.

La Société compte, à la date du 1er janvier courant, 4.548 abonnés en service, dont 4.376 dans l'intérieur des fortifications et 172 dans la banlieue.

Nombre de communications quotidiennes. — Dans les vingt-quatre heures, la moyenne quotidienne des communications échangées est de 18.876. Elles se répartissent très inégalement entre les douze bureaux centraux. Le plus chargé est celui de l'Opéra, qui en donne 3.081 ; le moins important est celui de Passy.

Le personnel, qui est de service de huit heures du matin à sept heures du soir, comprend 178 femmes ; chacune d'elles donne en moyenne 106 communications

par jour. De sept heures du soir au lendemain, ce sont des hommes qui les remplacent.

On voit que, par abonné, le chiffre des communications journalières est à peine de 4; mais il faut remarquer que beaucoup d'abonnés s'absentent une partie de l'année, et que, pendant la période estivale, les conversations téléphoniques subissent un ralentissement marqué.

Le nombre des bureaux centraux n'a pas varié; il est de 12 et paraît répondre, pour le moment du moins, aux exigences du trafic. Le plus important est celui de l'avenue de l'Opéra: 738 lignes d'abonnés y aboutissent; c'est le bureau de la rue Lecourbe qui en dessert le moins (110). La moyenne par bureau est de 383. Naturellement, les plus chargés sont ceux qui sont placés aux centres des arrondissements les plus populeux et où prédominent l'industrie, le commerce et les affaires de banque.

Grâce au système de lignes auxiliaires, qui relient *directement* chaque bureau à tous les autres, deux bureaux seulement interviennent pour mettre en relation deux abonnés quelconques; dès lors, l'établissement de la communication peut être réalisé une ou deux minutes tout au plus après la demande, si le service est fait avec toute la célérité qu'il comporte et que l'on obtient presque toujours dans la pratique.

Développement du réseau. — Chaque circuit d'abonné est constitué au moyen de deux fils pris, jusqu'aussi loin que possible du bureau central correspondant, dans un câble à 14 fils et prolongés à l'aide d'un câble à deux conducteurs, et, au besoin, par une petite section aérienne terminale, à défaut d'égout sur tout le parcours.

Cette disposition est appliquée dans l'enceinte des fortifications; au delà, pour les abonnés de la banlieue, la communication est aérienne et constituée avec du fil d'acier de 2 millimètres. Comme ce réseau extra-muros commence à être très encombré, — certaines sections comprennent 40 fils, — on a dû rechercher un modèle de câble susceptible d'être posé sur poteaux et de résister aux intempéries. Deux types sont aujourd'hui à l'essai; l'un composé de 2 fils pour les sections terminales, l'autre de 12 fils qui servira d'amorce principale.

Ces câbles sont recouverts de deux tresses de chanvre goudronnées qui semblent pouvoir en garantir l'isolement; le diélectrique est le caoutchouc. Ils offrent à la rupture une résistance suffisante pour que l'espacement des poteaux ne soit pas abaissé au-dessous de 75 mètres.

L'épreuve en est à peine commencée; on ne peut donc prévoir dès à présent quelle sera la durée de ce matériel et s'il y aura lieu d'en généraliser l'emploi.

Les lignes souterraines, posées dans Paris au 1er janvier 1887, se décomposent ainsi :

Câbles à 14 conducteurs.	1052k,344
Câbles à 2 conducteurs.	529k,226

Dans le premier de ces nombres se trouvent compris les câbles qui relient les bureaux auxiliaires et dont le développement est de 247k,800.

Enfin, les sections terminales aériennes dans Paris ont une longueur de 62k,828 de fil simple.

Quant au réseau aérien extra-muros, qui dessert les 172 abonnés de la banlieue, son développement en simple fil est de 701k,668.

Dérangements. — Sur le réseau qui embrasse plus de 16.500 kilomètres de fil simple, il semble que des interruptions momentanées doivent survenir à intervalles assez rapprochés.

Aux environs de grandes agglomérations comme Paris, les lignes aériennes sont exposées à des dérangements dus, soit à la malveillance, soit à des causes purement accidentelles; nous citerons entre autres les cerfs-volants des enfants, qui sont les pires ennemis des installations aériennes.

Pour les câbles souterrains, c'est autre chose ; les lampes des égoutiers ou les vapeurs provenant des usines chauffent les câbles, amollissent le diélectrique et produisent soit des mélanges, soit des pertes à la terre; ou bien les rongeurs s'attaquent à l'enveloppe de plomb qu'ils déchiquètent pour atteindre la gutta-percha dont ils sont très friands.

Malgré ces causes multiples de perturbation, les dérangements qui affectent le réseau téléphonique de Paris sont en réalité très peu fréquents. Pendant l'année 1886, on n'en a pas constaté plus de 435, soit un peu plus d'un par 10 abonnés. C'est là, on en conviendra, une proportion bien faible ; d'ailleurs, sauf de très rares exceptions, grâce à l'organisation et à l'expérience des équipes chargées de leur recherche, leur réparation est promptement terminée.

Dans le principe, chaque conducteur n'était formé que d'un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre environ, avec un diélectrique de très faible épaisseur; ce modèle, reconnu insuffisant, ne paraît pas avoir une durée pratique de plus de cinq ans. Le nouveau type adopté depuis 1882 est formé de 3 brins de 5/10 de millimètre avec une enveloppe isolante portant le dia-

mètre total à 25/10 de millimètre (*); il est beaucoup plus robuste, et nous espérons que les câbles ainsi fabriqués pourront rester en service pendant une période de dix ans.

16 avril 1887.

E. Caël.

(*) Voir, à ce sujet, les *Annales télégraphiques*, année 1884, p. 20.

ADAPTATION DE L'APPAREIL HUGHES

A LA TRANSMISSION MULTIPLE

SYSTÈME DE M. J. MUNIER
Commis au Poste Central des Télégraphes, à Paris.

[Fin (*)].

Il résulte des explications précédentes que l'embrayage du cliquet compensateur avec la roue de rochet R*o* ne se produit pas, comme dans l'échappement du Hughes, dès que la détente a fonctionné, mais qu'il n'a lieu au contraire qu'après un temps plus ou moins long et quand le cliquet a déjà décrit un arc plus ou moins grand autour, mais à distance du rochet. Ce résultat est obtenu au moyen de deux déclenchements indépendants, l'un faisant disparaître l'obstacle qui s'oppose au mouvement du disque compensateur D, l'autre produisant la chute du cliquet. Ces deux déclenchements sont commandés chacun par un électro-aimant distinct; le premier a lieu, en même temps que celui de la roue des types, sous l'action d'un courant local émis au moment où va commencer la communication de l'appareil avec la ligne; le second est produit par le courant reçu du poste correspondant.

Organes déclenchés par l'action du courant local. — Le courant local agit par l'intermédiaire de l'électro-aimant E_1 et du levier L (*fig.* 4et 5). Le soulèvement

(*) Voir le numéro de septembre-octobre 1886.

de l'armature de E_1, qu'on peut supposer, pour le moment, produit par le doigt, a pour effet de faire basculer le levier L et d'abaisser simultanément :

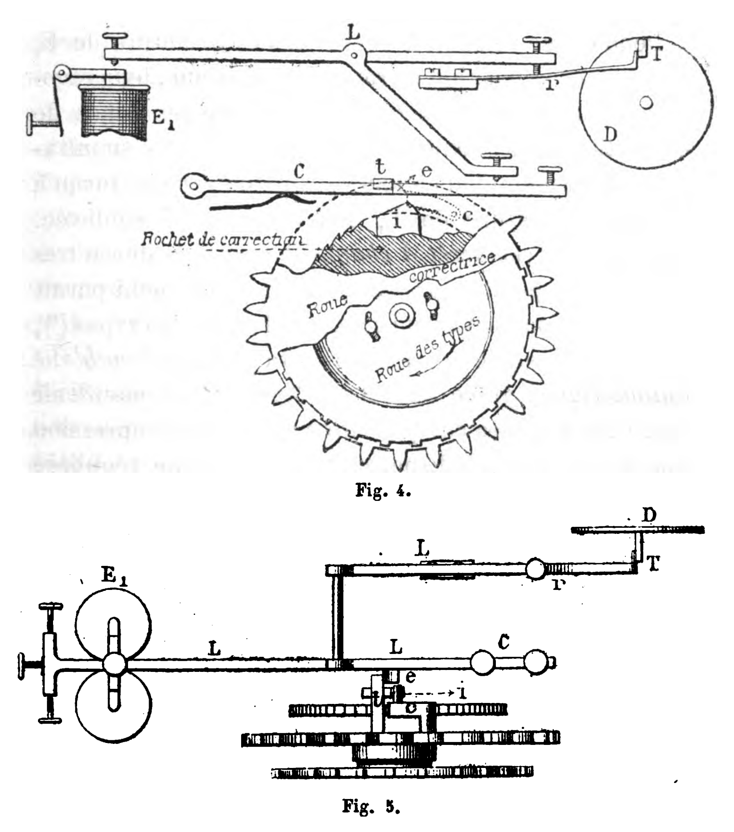


Fig. 4.

Fig. 5.

1° Le ressort *r* dont l'extrémité, en forme de ⊿, se dérobe sous la traverse T du disque compensateur, qui est, dès lors, entraîné dans le mouvement de son axe A.

2° Le levier C dont l'épaulement s'efface et dégage le taquet *t*, placé sous la roue correctrice ; le cliquet

de correction *c*, glissant alors sur le plan incliné *i*, vient embrayer avec le rochet qui entraîne par suite la roue correctrice et la roue des types avec une vitesse égale à celle du disque compensateur.

Pendant ce temps, le levier L et l'armature de E_1 reprennent la position de repos, de sorte que, leur révolution terminée, le disque D ainsi que les roues de correction et des types, se trouvent revenus simultanément et maintenus à leurs points de repère, jusqu'à ce que l'armature de E_1 soit de nouveau soulevée. En marche, cet *arrêt à chaque tour* a une durée très courte et à peine appréciable, et le mouvement paraît continu, surtout en ce qui concerne la roue des types (*), mais il y a lieu de noter cette sorte de *rappel au blanc automatique*, grâce auquel M. Munier peut maintenir entre les organes compensateurs et ceux d'impression une concordance indispensable à la marche régulière du système, en même temps qu'il corrige les écarts de vitesse entre l'appareil et le bras du distributeur, qui détermine lui-même le moment du déclenchement local, comme on peut le voir en se reportant à la planche de la page 448 (t. XIII). Ce bras porte en effet, près de son extrémité, isolés du support, mais reliés entre eux, deux frotteurs ou balais qui ferment le circuit local au moment où ils établissent la communication entre le contact *c* relié à l'entrée de l'électro-aimant E_1 et un contact voisin qui communique avec une pile locale. Il suffit donc de donner à l'appareil une vitesse presque égale, mais légèrement supérieure à celle du bras distributeur, pour que celui-ci produise le déclenchement en temps

(*) Celui du système compensateur a, en réalité, une durée variable et d'autant plus longue que la lettre transmise est moins éloignée du point de départ.

opportun, et il en résulte que les différences ne peuvent s'accumuler et restent négligeables, quoique le synchronisme des deux mouvements ne soit pas absolu. En outre, cette disposition, si elle n'empêche pas les *lettres fausses*, présente du moins l'avantage d'éviter ce qu'on est convenu d'appeler les *déraillements* dans le travail au Hughes (*). Le contact C 1, 2, 3, etc., est mobile, c'est-à-dire susceptible d'être déplacé angulairement d'une certaine quantité afin de permettre un écart différent suivant les cas, entre le moment du déclenchement local et celui qui marque la mise en communication de la ligne avec le secteur réservé à l'appareil dont il s'agit. Son rôle peut être assimilé à celui de la came qui ferme le circuit du frein dans les appareils Baudot, et, en outre, son déplacement équivaut parfois à l'opération qu'on désigne sous le nom d'*orientation* dans la pratique de ces appareils. Il fera l'objet d'explications ultérieures, au fur et à mesure que certains points devront être précisés. Pour l'instant, et afin de faciliter l'explication, on peut admettre que la position du contact C est celle de la figure, c'est-à-dire en avance de la quantité nécessaire pour que le déclenchement puisse avoir lieu et que le départ des organes déclenchés coïncide avec l'arrivée des frotteurs sur le commencement du secteur.

Le disque compensateur entraîne dans son mouvement toutes les pièces qu'il supporte, notamment le cliquet qui reste soulevé tant que la palette de l'électro E reste elle-même au contact des pôles.

(*) C'est d'ailleurs ce procédé de correction que M. Munier compte appliquer, dans ses appareils définitifs, aux deux distributeurs situés aux extrémités de la ligne. Il n'est pas sans analogie avec celui que d'Arlincourt employait dans ses appareils autographiques.



Quant au rochet R*o*, on peut, quoi qu'il ne subisse aucun arrêt, le considérer comme fixe dans l'espace tant que le cliquet reste soulevé; on peut admettre également pour l'intelligence de ce qui suit que le rochet comporte 112 dents également espacées, de sorte que le cliquet sera censé jouer vis-à-vis du rochet, le rôle que joue la came corrective vis-à-vis de la roue de même nom.

Organes fonctionnant sous l'action des courants de ligne. — On a vu (page 448) comment le cliquet compensateur est rendu solidaire des mouvements de l'armature de l'électro-aimant E. Celui-ci ne restant en communication avec la ligne que pendant le passage des frotteurs sur le secteur affecté à l'appareil, son action doit s'exercer pendant le temps employé par le bras distributeur, par le disque D et par la roue des types à accomplir un quart de révolution, c'est-à-dire pendant que le cliquet se déplace autour du rochet R*o* d'un angle *maximum* (*) de 90°.

Rigoureusement, le cliquet ne peut aller au delà, et, par suite, le disque D ne peut accomplir une révolution entière que si aucun courant n'a été reçu de la ligne depuis qu'il a été déclenché. En effet, tout courant reçu de la ligne aurait provoqué le soulèvement de l'armature, la chute du cliquet dans l'intervalle de 2 des 28 dents qu'on a supposées exister dans l'arc de 90°, et, par suite, le mouvement rétrograde de tout le système compensateur qui revient alors avec une vitesse trois fois plus petite à son point de départ. Or, les frotteurs du distributeur et le cliquet compensateur étant animés de la même vitesse (avant l'émission) et partant

(*) On verra tout à l'heure que, dans la pratique, le chemin parcouru par le cliquet est un peu plus grand.

au même moment de points symétriquement placés, on voit que le cliquet arrive en face d'un nouveau 112ᵉ du rochet, c'est-à-dire dans le $m^{ième}$ des 28 intervalles du quadrant en même temps que le frotteur arrive sur le $m^{ième}$ des 28 contacts du secteur, chacun des mobiles s'étant déplacé angulairement d'un angle égal.

Toute émission faite par les contacts 1, 2, 3, 4, etc., doit donc faire tomber le cliquet dans les intervalles 1, 2, 3, 4... du rochet (*) au moment où la roue des types a progressé, elle aussi, de 1, 2, 3, 4... 112es de tour. Le compensateur revenant alors en arrière avec une vitesse trois fois moindre ou en trois fois plus de temps, la roue des types continue d'avancer de 3, 6, 9, 12... autres 112es et se trouve ainsi avoir progressé de 1, 2, 3, 4... 28es au moment où le compensateur est revenu à son point de repère.

Le cliquet compensateur agit donc comme *modificateur presque instantané*, *changeant à la fois le sens et la grandeur de la vitesse*. C'est au moment de son retour au point de repère que doit avoir lieu l'échappement de la détente ordinaire du Hughes et de la mise en mouvement de l'axe imprimeur. Ce résultat est obtenu par l'intermédiaire du levier L^2 dont l'extrémité est munie d'un pied de biche K', placé sur le parcours de la came K fixée sur le disque compensateur.

Au repos, les becs très aigus de la came K et du pied de biche K' ne sont pas écartés l'un de l'autre, comme pourrait le faire croire la figure, mais l'extrémité de K repose sur celle de K', de telle sorte qu'un

(*) On verra plus loin que le degré de précision nécessaire pour éviter ce qu'on appelle les lettres fausses est de 1/2 112ᵉ ou de 1/224ᵉ de tour, soit une avance ou un retard de 1/448ᵉ de seconde à la vitesse normale de 120 tours.



faible déplacement dans le sens de la flèche fait passer K, avec une perte de temps aussi réduite que possible, au-dessous de K′ qui bascule tout d'abord de la quantité nécessaire pour laisser le passage libre.

La came K n'a donc pas d'action *au départ* sur le levier L^2; mais lorsqu'elle termine son retour en arrière, après l'inversion du mouvement du compensateur, elle rencontre de nouveau le pied de biche K_1, qui ne peut pas basculer dans ce sens. Elle ne peut donc passer qu'en soulevant le levier L2 ; celui-ci agissant de son côté sur la détente du Hughes, provoque la mise en marche de l'axe imprimeur qui accomplit alors son travail comme dans un Hughes ordinaire. Pendant ce temps, la traverse T a glissé sur le plan incliné situé à l'extrémité du ressort p qui a cédé sous la pression, puis la came Ca, placée sur l'axe imprimeur, agit sur le bras l_1 du levier L, ramenant ainsi l'armature au contact des pôles et, du même coup, désembrayant le cliquet C. Le désembrayage produit, le disque D n'est plus entraîné par l'axe B, mais tend, au contraire, à suivre le mouvement inverse de l'axe A; seulement il est maintenu au repos par la dent du ressort p jusqu'à ce qu'un nouveau courant local produise son déclenchement.

Le pied-de-biche K_1 et la came K, qui doivent fonctionner avec précision, sont susceptibles d'un réglage très fin ; toutefois, comme le passage de K au-dessous de K_1 doit évidemment précéder la chute du cliquet, même dans le cas d'une émission par le premier contact, il en résulte que, dans la pratique, le déclenchement doit s'effectuer un peu en avance. Or, cette avance se trouve finalement multipliée par 4 en raison de la vitesse trois fois moindre du mouvement rétrograde ; si

bien que, même pour la première lettre, la durée du temps qui s'écoule entre le déclenchement produit par le courant local et la mise en mouvement de l'axe imprimeur est loin d'être négligeable. Pratiquement, elle se traduit, pour la roue des types, par une avance que compense un calage en arrière ou en retard d'environ $4/28^{es}$ et les choses se passent en réalité comme si le compensateur déclenchait de $1/28^{e}$ ou $4/112^{es}$ de tour en retard sur la roue des types. Cela ne présente pas d'inconvénient pour les 24 premières émissions, étant donné que le calage de la roue est modifié, mais il en résulte cette fâcheuse conséquence, qu'*après la transmission d'une des quatre dernières lettres* (W, X, Y, Z), *il est indispensable de laisser passer un tour sans transmettre* (*).

En fait, le cliquet compensateur ne passe par le point qu'on pourrait appeler zéro qu'après avoir déjà décrit un arc de $1/28^{e}$ de tour, soit d'environ 13°. Pour établir la coïncidence de ce point zéro avec l'arrivée des frotteurs de ligne sur le secteur, on est obligé de donner au contact local C 1, 2, 3... une avance qui compense la perte de temps provenant des causes indiquées plus haut. Il en résulte que le cliquet compensateur a déjà décrit l'arc de 90° quant les frotteurs sont sur le 24e contact ; toute émission faite sur un des quatre contacts qui suivent ne peut donc provoquer la chute du cliquet qu'au delà de 90°, soit environ 103° (82/112), quand il s'agit de la lettre Z ; or, en vertu même du principe de l'appareil, le retour du compen-

(*) **Chaque appareil ne donne donc pas toujours une lettre par tour ; toutefois l'ordre de fréquence des lettres ci-dessus n'étant guère que de 2 à 3 p. 100, il peut encore donner 97 à 98 lettres dans 100 tours, soit $0^{lett},975$ par tour.**



sateur à son point de repère et, par suite, l'impression ne peuvent avoir lieu qu'après que la roue des types a décrit elle-même $103 + 103 \times 3 = 103 \times 4$ ou 412° (*), c'est-à-dire pendant qu'elle accomplit sa deuxième révolution. Dans ce cas, l'électro-aimant E_1 a fonctionné comme d'habitude à la fin du premier tour, pour ne laisser à la roue des types qu'un arrêt à peine sensible, mais il est resté sans action sur le disque qui n'était pas encore revenu à son point de repère, et ne pourra être déclenché de nouveau en même temps que la roue des types, qu'après un deuxième tour des appareils. Toute émission faite pendant ce deuxième tour n'aurait pas d'effet si elle se produisait sur un des trois premiers contacts et, dans le cas où elle serait effectuée sur un des contacts suivants, elle aurait pour conséquence de produire l'encliquetage au point de repère même, et, par suite, le mouvement rétrograde immédiat ; d'où perte de trois tours au moins des deux appareils en correspondance, impression d'une lettre fausse et même absence de trois caractères transmis, si l'opérateur ne s'est pas aperçu de son erreur de manipulation.

Il importe, pour éviter les omissions et autres erreurs qui proviendraient de ce fait dans la transmission des chiffres, de régler les organes en jeu et la position du contact mobile, de telle sorte que le départ du point de repère et le passage par le point zéro du compensateur ne soient pas écartés de plus de 4/112 (**).

(*) Il aurait encore lieu plus tard si le rapport compensateur était plus élevé, c'est-à-dire si on voulait augmenter le nombre des appareils et par suite diminuer la vitesse de l'axe du rochet.

(**) Tout écart supérieur entraînerait pour la roue des types une avance ou calage en arrière de plus de 4/28°° et forcerait le poste transmetteur à laisser passer 1 tour après chaque blanc des chiffres, sous peine de voir se produire les omissions et erreurs dont il vient d'être question. On ne

Il est nécessaire aussi que les appareils n'avancent que d'une quantité très faible sur leur distributeur; dans le cas contraire, un arrêt appréciable, qui ne porterait que sur la roue des types, pourrait la retarder assez pour que le chemin parcouru au moment de l'impression d'un des derniers caractères ne fût plus exactement ou du moins très approximativement le produit par 4 du déplacement effectué par le cliquet compensateur. La correction du Hughes, qui a été conservée, permet un écart de 1/56ᵉ de tour, soit un arrêt maximum ou avance de 1/112ᵉ de seconde de la roue des types sur le distributeur du poste transmetteur.

Distributeur. — Peut-être eût-il été plus logique de donner plus tôt la description du distributeur, mais, malgré les particularités importantes que présente cet organe, son principe est le même que celui de tous les distributeurs multiples, et c'est pourquoi il a paru préférable d'examiner tout d'abord le fonctionnement du compensateur. En outre, au moment où paraissait le premier article, M. Munier venait de combiner un modèle de distributeur d'une construction toute nouvelle qui, quoique reposant sur le même principe, s'écarte des types en usage jusqu'ici, et doit présenter, suivant l'auteur, certains avantages dans la pratique. Ce nouveau modèle est aujourd'hui à peu près terminé; mais la description ne peut encore en être donnée, dans l'intérêt des droits de l'inventeur. Toutefois, comme au point de vue théorique, il ne diffère pas du premier, il suffira de se reporter à celui-ci, qui est représenté dans la figure générale. C'est le seul, d'ailleurs, qui ait été expérimenté.

pourrait pourtant guère l'éviter, si, pour augmenter le nombre des appareils, on augmentait le rapport des vitesses des axes A et B.

On a supposé jusqu'à présent que la division en 112es (28×4) du temps d'une révolution du distributeur et du compensateur correspond au cas d'une installation quadruple, 4 étant le rapport de 112 à 28. Théoriquement, cela paraît exact, mais, en pratique, cela ne peut être réalisé en raison de la nécessité où l'on se trouve : 1° de ménager entre les secteurs un intervalle suffisant pour éviter les interférences d'un appareil sur l'autre, et 2° de réserver un autre intervalle pour l'envoi et la réception du courant correcteur. Or, dès l'instant qu'on ne peut utiliser, pour la transmission des caractères, les 112 divisions du distributeur et que cependant le nombre des divisions utiles ne peut être qu'un multiple de 28, on est réduit à ne pouvoir desservir *au plus* que *trois* appareils et à ne compter que $28 \times 3 = 84$ contacts effectifs. Donc, malgré un rapport égal à 4 entre la division du temps appliquée à la roue des types et celle qui est adoptée pour le distributeur et le compensateur, rapport qui détermine la transformation de 112es en 28es, on ne peut avoir en réalité que trois secteurs. Chacun de ceux-ci comprend d'abord 28 divisions ou contacts utiles qui ne sont autres que les 28/112e renfermés dans un quadrant, puis un intervalle qui empiète sur le quadrant voisin. Un distributeur à 112 divisions ne se prête donc en réalité qu'à une installation *triple*, quoi qu'il ait été considéré jusqu'à présent comme un distributeur quadruple; c'est ce qui a motivé l'observation de la page 436 (t. XIII). Les intervalles dans ce distributeur sont chacun de 7/112es, ce qui donne 21/112es pour les trois secteurs; les 7/112es qui restent servent à la correction. D'une façon générale, toutes les fois que le *rapport de compensation est un nombre entier*, *il doit être plus grand d'une unité*

AU MOINS (*) *que le nombre des appareils à desservir*, et les divisions du distributeur doivent être calculées sur la même base. On a ainsi :

Des 112es pour un triple ;
Des 140es pour un quadruple ;
Des 168es, peut-être même des 196es pour un quintuple, etc.,

c'est-à-dire que le multiplicateur est en réalité $n+1$ et peut-être même plus fort, au lieu d'être simplement n, comme il a été dit dans la première partie (n étant le nombre des appareils).

Les intervalles entre les secteurs ont encore pour but de permettre d'augmenter la durée des émissions qui serait le plus souvent trop courte si elle était limitée à 1/28e de secteur, soit, pour une installation *triple*, à 1/224e de seconde à la vitesse normale de 120 tours par minute ou à 1/261e à la vitesse de 140 tours. Chaque émission *commence* toujours exactement au 28e de secteur qui caractérise le signal à transmettre, mais elle peut sans inconvénient se prolonger sur le ou les 28es suivants de la quantité voulue pour assurer au courant d'arrivée l'intensité nécessaire au fonctionnement correct de l'électro-récepteur. Mais si on veut, par exemple, dans le distributeur à 112 divisions donner à chaque émission une durée de 4/112es (un 56e de seconde à 120 tours), la transmission de la lettre Z se prolonge de 3/112se au delà du quadrant. Si on tient

(*) Il peut se faire en effet que, par suite de la durée des émissions et surtout de la propagation du courant, la somme des intervalles nécessaires pour éviter les interférences et assurer la correction soit supérieure à $\frac{1}{n+1}$ du distributeur, et il faudrait, dans ce cas, que le temps fût divisé en $(n+2)$28es et peut-être même en fractions plus petites pour laisser disponibles des intervalles plus grands.

compte alors du temps nécessaire à la décharge de la ligne, on voit que les 4/112es qui restent de l'intervalle seront suffisants si la période de propagation du courant ne dépasse pas 2/56es ou 1/28e de seconde, c'est-à-dire seulement sur les lignes qui ne sont pas d'une longueur ou d'une capacité exceptionnelle (*). On ne disposerait plus de la même marge si on voulait augmenter le nombre des transmissions ; c'est ainsi que dans un appareil à quatre transmissions (division en 140es) les intervalles entre chaque secteur ne pourraient comprendre plus de 6/140es ($6 \times 4 = 24 + 4$ pour la correction $= 28$) et qu'il ne serait pas possible, dès lors, de donner aux émissions une valeur de plus de trois contacts ou 140es, soit de 1/87e de seconde, sous peine de ne plus avoir, après la transmission des Z, un temps suffisant pour que la décharge d'une ligne de 500 à 600 kilomètres pût s'effectuer complètement avant l'arrivée des frotteurs sur le secteur suivant. C'est ce que montrent les courbes de la *fig.* 6, p. 219, établies pour un appareil à quatre transmissions marchant à la vitesse de 120 tours par minute sur une ligne aérienne d'environ 600 kilomètres. Si on envisage quelques instants la question sous cet aspect, on ne tarde pas à comprendre que, *malgré l'unité d'émission pour la formation d'un caractère*, il ne serait pas avantageux de chercher à réaliser plus de trois à quatre transmissions sur les lignes qui atteignent 600 kilomètres ; d'autres considérations qui seront dévelop-

(*) Sauf modification probable du distributeur, cette marge se trouverait pourtant réduite au moins pour les transmissions dans un des 2 sens, étant donné que, par suite du retard que subit la propagation du courant, les deux bras distributeurs en marche ne sont pas réellement dans des positions symétriques, comme on le verra plus loin.

pées plus loin conduisent également à des conclusions semblables et peut-être même plus rigoureuses.

Avec le modèle de distributeur que M. Munier construit en ce moment, la durée des émissions pourra être modifiée à volonté, dans les limites que permettront les circonstances; mais dans celui qui nous occupe, elle était de 4/112[es] de tours. La figure générale montre comment, pour arriver à ce résultat, les vingt-huit contacts du secteur sont répartis en quatre couronnes concentriques, au lieu de se succéder sur une seule et même couronne :

Chaque contact occupe un angle de 4/112[es]; mais l'écart angulaire entre les points symétriques des contacts de deux couronnes voisines restant égal à 1/112[e], il s'ensuit que la durée de l'émission ne change rien à son moment et qu'à ce dernier point de vue, on obtient les mêmes résultats que si les vingt-huit contacts ne mesuraient que 1/112[e] et se suivaient sur une même couronne. Les couronnes étant numérotées de l'extérieur à l'intérieur, on voit que si les frotteurs sont situés exactement sur un même rayon, leur arrivée sur la première précède de 1/112 de tour leur arrivée sur la seconde, de 2/112[es] leur arrivée sur la troisième, et de 3/112[es] leur arrivée sur la quatrième (*); pour la même raison, ils ne quittent la quatrième couronne que 3/112[es] de tour après la première, et c'est pourquoi le vingt-huitième contact (lettre Z) du secteur, qui est le septième de cette quatrième couronne, dépasse le quadrant d'une longueur égale à 3/112[es].

(*) On eût obtenu le même résultat en divisant les 4 couronnes suivant les mêmes angles et en donnant respectivement à chacun des 4 frotteurs la longueur voulue pour laisser un écart de 1/112[e] de tour dans l'arrivée de 2 frotteurs voisins sur le commencement du secteur.



Communications du distributeur avec la ligne et avec les appareils. — Comme on le voit sur la figure, les quatre frotteurs sont en communication électrique entre eux et avec un cinquième frotteur qui parcourt une cinquième couronne intérieure reliée à la ligne; on voit également, sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans d'autres explications, comment sont établies les communications d'un secteur avec son appareil respectif. Au poste d'arrivée, il n'y a pas à tenir compte des *divisions*, mais seulement de l'ensemble du secteur qui peut être, dès lors, considéré comme un seul plot métallique établissant la communication de la ligne avec la traverse de repos du clavier et, par suite, avec l'électro-aimant E. Les divisions de réception sont en réalité figurées par des 112es de circonférence du compensateur, comme on l'a vu plus haut. Quant aux communications spéciales au déclenchement local, elles ont été indiquées précédemment.

Manipulation. — Chaque appareil est muni d'un petit marteau qui donne à l'employé la cadence de la manipulation en produisant un choc indiquant le moment opportun pour abaisser la touche du caractère à transmettre. Quelle que soit cette touche, il est indispensable qu'elle soit et reste abaissée au moins pendant tout le temps qu'a lieu le passage du frotteur sur le contact correspondant. Aussi importe-t-il, pour éviter que les premières touches soient abaissées trop tard ou les dernières abandonnées trop tôt, que l'opérateur observe une cadence telle que la touche soit abaissée avant que les frotteurs arrivent sur le secteur et qu'il ne soulève pas le doigt avant qu'ils ne soient déjà sur le secteur suivant. Cette obligation réclame une attention relativement soutenue surtout à

cause de la nécessité de *chercher* sur le clavier la touche à manipuler et de donner, par suite, à la main des déplacements plus ou moins grands un peu dans tous les sens. Il faut aussi ne pas oublier de laisser passer un tour après la transmission de l'une des quatre dernières lettres. Il y a donc là une certaine habitude à contracter ; il est probable, cependant, qu'après quelques jours d'exercice, la manipulation ne serait ni plus ni moins difficile que dans les autres systèmes multiples (*).

Synchronisme. Correction. — Les essais qui ont eu lieu ont été très restreints et n'ont pas porté sur ces points importants. M. Munier ne disposait alors que d'un seul appareil récepteur, d'un clavier transmetteur et d'un seul distributeur dont un secteur seulement était divisé, c'est-à-dire des organes indispensables pour effectuer, *dans un seul sens*, une des trois transmissions pouvant être alternées, auxquelles devrait se prêter le système complet. Les contacts, reliés aux touches du clavier, ne servaient qu'à la transmission ; les frotteurs étaient reliés à l'extrémité d'un circuit bouclé dont l'autre bout communiquait directement avec l'électro-récepteur E (**). En réalité, le même distributeur servait à la fois au *départ* et à l'*arrivée :* au départ, pour la transmission des signaux au moment opportun; à l'arrivée, pour commander le déclenchement local du récepteur. Il n'y avait donc pas à compter avec les écarts de synchronisme qui pourraient se produire dans la pratique entre les deux distributeurs extrêmes, mais

(*) Ceci ne s'applique pas au multiple Delany, dans lequel on n'a pas à s'occuper de la cadence.

(**) La pile de ligne prenait sa terre au poste central des télégraphes et l'électro-aimant à 7 kilomètres de distance (pont d'Asnières) par un fil spécial.

il fallait donner au contact mobile C une *orientation* (*) particulière, appropriée à la résistance, à la capacité et aux autres conditions du circuit, le reporter, par exemple, d'autant plus à droite que la période variable était plus longue, de façon à provoquer le déclenchement *local* des organes récepteurs, non pas, comme on l'a vu, 4/112es de tour environ avant l'arrivée de la ligne (**) sur le secteur, mais avec un retard égal au temps qui s'écoulait entre l'émission du courant et le moment où ce courant atteignait à l'arrivée une intensité suffisante pour faire déclencher l'électro de ligne. Ces conditions n'étaient favorables qu'au point de vue du synchronisme entre le distributeur et le récepteur; car, tandis que les courants de ligne étaient soumis à diverses influences qui pouvaient retarder ou avancer le moment de l'électro-aimant, les courants locaux agissaient toujours à des moments précis, alors qu'il eût été préférable qu'ils subissent les mêmes influences que les premiers. Cet inconvénient serait sans doute un peu atténué avec une installation complète dans laquelle les frotteurs, qui ferment le circuit local, seraient soumis, une fois par tour, en même temps que tout le bras distributeur, à l'action des courants correcteurs émis par le poste correspondant; mais l'atténuation n'existerait guère que dans le cas de variations relativement lentes de l'état électrique du conducteur.

On sait déjà par la note de la page 201 que le procédé de correction (***) que M. Munier compte appliquer pour maintenir la concordance entre ses distributeurs

(*) C'est-à-dire un déplacement à droite ou à gauche par rapport au commencement du secteur.

(**) Ou mieux des frotteurs reliés à la ligne.

(***) Quant au régulateur de vitesse, c'est toujours la lame vibrante et le frein de l'appareil Hughes.

est le même que celui qui agit en local sur les appareils ; le distributeur corrigé devra donc avoir, en réalité, une vitesse légèrement supérieure à celle du distributeur correspondant afin de pouvoir subir à chaque tour *un arrêt à peine sensible*. Il ne faut pas oublier, en effet, que les appareils avancent eux-mêmes sur leur distributeur, et que l'avance relative prise par la roue des types *réceptrice* sur le distributeur du poste transmetteur ne peut être de plus de 1/56ᵉ de tour (p. 207). Il semble donc que la vitesse des appareils du poste qui envoie le courant correcteur pourrait être telle qu'ils avancent par tour de 3/112ᵉˢ sur leur propre distributeur sans gagner plus de 1/56ᵉ sur le distributeur du poste corrigé, tandis que les appareils de ce dernier ne pourraient prendre plus de 1/112ᵉ d'avance sur leur distributeur qui, lui-même, ne pourrait gagner sur l'autre plus de 1/112ᵉ par tour. Cela représente 1/224ᵉ de seconde ou un peu plus de la moitié d'un tour par minute (à 120 tours), s'il n'y avait pas de correction. Les essais n'ayant pas eu lieu dans ces conditions, on ne peut dire si cette marge serait toujours suffisante pour maintenir le synchronisme quoique cela paraisse probable, puisque la vitesse des Hughes se règle habituellement pour n'avoir pas plus de 3/14ᵉˢ de tour d'écart par minute. On pourrait craindre toutefois que les influences agissant sur le courant correcteur ne rendissent la correction illusoire et que, d'un autre côté, un petit ralentissement accidentel dans le distributeur corrigé ne pût lui donner un retard de plus de 1/224ᵉ de seconde, ce qui détruirait tout l'accord du système. Il est vrai que, pratiquement, la marge indiquée ci-dessus pourrait sans doute être doublée par un petit déplacement convenable et inverse dans les deux pos-

tes des contacts mobiles C_1, C_2, C_3, de sorte que la différence serait susceptible d'être portée à *un tour par minute*.

Il a été dit précédemment que le déplacement des contacts mobiles équivalait, dans certains cas, à l'opération désignée sous le nom d'*orientation* (*) dans l'appareil Baudot, et c'est en effet ce qui existait dans les essais; mais, dans une installation complète, ce cas n'existerait pas dans le poste du distributeur corrigé qui *s'oriente* (**) pour ainsi dire de lui-même par rapport au distributeur qui envoie le courant correcteur. Leur position dans le poste corrigé ne dépendrait pas de la durée de propagation des courants sur la ligne, mais seulement des causes locales indiquées à diverses reprises ; elle pourrait, à la rigueur, être déterminée, une fois pour toutes, si les électro-aimants des appareils et l'électro-aimant correcteur étaient tous et toujours dans des conditions identiques de sensibilité. Leur rôle pourrait donc être assimilé à celui de la came qui ferme le circuit de l'électro-frein dans les traducteurs Baudot. Mais au poste qui envoie le courant correcteur, la position des contacts mobiles varierait en outre avec la résistance, la capacité et l'état de la ligne et avec les autres causes qui peuvent influencer l'action du courant. Le distributeur correcteur prend, en effet, sur l'autre une avance proportionnelle à la durée de propagation du courant, mais il faut encore ajouter à ce premier écart l'écart égal qui se produit entre le moment d'une émission de courant au distributeur cor-

(*-**) Dans la pratique des appareils Baudot, on donne le nom d'*orientation* au réglage qui consiste à déplacer l'un par rapport à l'autre les contacts de transmission et de réception qui sont indépendants. — Ce n'est que par analogie, quant aux résultats, qu'on peut l'employer ici pour désigner le déplacement du contact par rapport au commencement du secteur.

rigé et celui où ce courant atteint l'intensité voulue à son arrivée au poste correcteur. Il faudrait donc pour compenser cet écart retarder d'autant l'enclenchement local des appareils et, par conséquent, déplacer les contacts mobiles de la quantité convenable dans le sens du mouvement (*); mais cette mesure serait, dans beaucoup de cas, une nouvelle cause soit d'agrandissement des intervalles, soit de réduction du nombre des secteurs. M. Munier n'a pas fait connaître comment il pense obvier à cet inconvénient; peut-être se propose-t-il d'adopter une disposition spéciale qui lui permette tout au moins de partager l'écart entre les deux postes. Il n'a pas indiqué non plus les moyens qu'il compte employer pour obtenir le contrôle des transmissions au départ; la solution n'est pas sans présenter quelques difficultés, étant donné que le calage particulier de la roue des types ne permet pas d'avoir recours au déclenchement automatique direct du levier de détente, et que l'*orientation* particulière des contacts mobiles ne permet pas non plus de le produire à l'aide du courant de départ, du moins au poste correcteur.

On a supposé jusqu'ici que le courant destiné à provoquer l'encliquetage du compensateur produit son effet avec une précision mathématique. Il pourrait en être ainsi si la vitesse des appareils ne subissait aucune variation, si le réglage de l'électro-aimant était absolument stable et surtout si, la ligne se trouvant toujours à l'état neutre, les courants n'avaient à sup-

(*) Pratiquement, M. Munier règle ordinairement la position du contact mobile en demandant au correspondant de transmettre la lettre N à chaque tour jusqu'à ce que cette lettre sorte régulièrement à la réception. Il choisit sans doute la lettre N pour diviser en deux fractions égales la petite avance que prend l'appareil sur les frotteurs qui parcourent le secteur de transmission.



porter que le retard *constant* qui, toutes choses égales d'ailleurs, serait proportionnel au produit crl^2 dans lequel C serait la capacité kilométrique de la ligne, *r* sa résistance également par kilomètre et *l* sa longueur. Mais aucune de ces conditions n'est rigoureusement remplie dans la pratique; en ce qui concerne notamment les courants, plusieurs causes telles que les dérivations et l'induction réciproque des conducteurs, les courants telluriques, etc., font varier à tout instant le temps qui sépare leur émission au poste de départ de leur manifestation au poste d'arrivée (*). Il s'ensuit une avance ou un retard dans l'action du courant, et ce n'est en réalité qu'exceptionnellement que l'effet mécanique, qui doit en résulter, se produit au moment précis qui lui est assigné, surtout lorsque les fils voisins sont en activité. Ces influences se font d'autant plus sentir que la courbe du courant d'arrivée est moins redressée, et sont donc particulièrement nuisibles sur les longues lignes. Aussi arrive-t-il que même l'appareil Hughes, malgré la marge de 1/56e de tour au d'1/112e de seconde qu'il laisse en avance ou en retard à l'action du courant, *déraille* fréquemment sur les lignes un peu longues ou soumises aux influences perturbatrices des fils voisins; il est vrai que, malgré la correction produite à chaque lettre, l'usage des *combinaisons* mécaniquement comme électriquement ajoute souvent une nouvelle cause de trouble, mais le fait n'en existe pas moins. On peut donc se

(*) L'électro-aimant Hughes est un de ceux qui sont le plus affectés par les courants étrangers, surtout lorsque ces courants sont de direction contraire à celle qui devrait provoquer le soulèvement de l'armature. Il se produit alors, par suite de l'extrême rapprochement de l'armature, une sorte de *suraimantation* ou magnétisme de polarisation qui retarde l'action du courant utile.

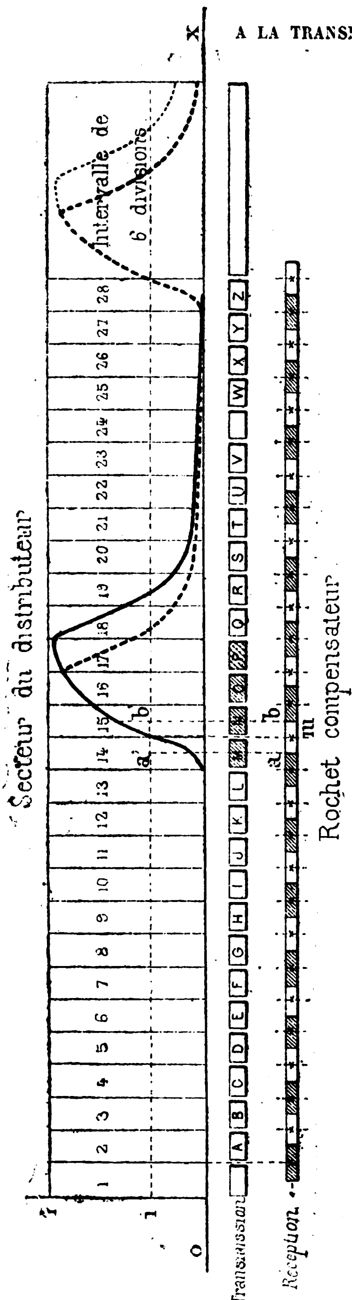


Fig. 6.

demander si M. Munier ne s'aventure pas quelque peu en s'engageant dans une voie où la précision absolue est presque de rigueur.

Soit le cas auquel se rapporte la *fig.* 6 et qui est celui d'un appareil quadruple dans lequel les divisions du distributeur sont des 140es. La ligne OX représente l'état neutre et mesure également les intervalles de temps affectés à un secteur, soit 28 + 6/140es, chaque 140e équivalant à 1/280e de seconde à la vitesse de 120 tours. I figure l'intensité maximum ou le courant constant de la période stable. L'électro-aimant est supposé réglé de façon à fonctionner lorsque le courant atteint une valeur *i*, c'est-à-dire dans la partie la plus redressée de la courbe qui se rapporte à une ligne aérienne de 500 à 600 kilomètres. On voit d'abord qu'on ne pourrait, dans

ce cas, donner à l'émission une durée de quatre divisions, car la charge qui suivrait l'émission de la lettre Z affecterait le secteur suivant; il faudrait les restreindre au moins à trois divisions. Quant à les réduire à deux, cela ne serait possible que dans le cas où la valeur de i ne serait pas inférieure à 4 ou 5 milliampères, nécessaires pour que le réglage ne soit pas trop délicat.

Soit à transmettre la lettre M; l'émission de courant commence sur le 14ᵉ contact. Le retard constant entre l'émission du courant et le moment où il atteint à l'arrivée l'intensité i, étant d'environ 1/280ᵉ de seconde ou une division, entraîne une *orientation* (*) pouvant aller également jusqu'à 1/140ᵉ, mais qu'il y a grand intérêt à restreindre à un demi 140ᵉ afin que le point précis de l'encliquetage se trouve au milieu du 14ᵉ intervalle *ab* du rochet et qu'il existe ainsi de chaque côté une marge d'un demi 140ᵉ permettant de petites variations, soit en avance, soit en retard, de préférence à une marge double dans un sens, mais nulle dans l'autre. La lettre M sera dès lors reproduite à l'arrivée à la condition qu'il n'y ait pas d'écart de vitesse supérieur à 1/2 *ab* et que la courbe ne soit pas déformée par les influences étrangères au point d'atteindre i en a', si le courant est favorisé ou seulement en b' dans le cas contraire. La marge n'est donc au plus que de $\frac{1}{280 \times 2}$ ou 1/560ᵉ de seconde en avance ou en retard; c'est peu, étant donné qu'il peut y avoir coïncidence entre la variation de vitesse des appareils

(*) Voir p. 216.

et la variation du courant, et que cette marge n'existe rigoureusement que pour l'émission de la lettre sur laquelle on a réglé l'orientation. Soit, par exemple, la lettre A; en admettant qu'on obtienne la chute du cliquet au point milieu de l'intervalle qui lui est affecté, les petites différences de vitesse qu'il faut laisser entre les appareils font que cette chute a lieu de A vers Z, avec une avance progressive dans le poste corrigé et avec un retard progressif dans celui qui envoie le courant correcteur, si bien que, pour le 28ᵉ intervalle, la marge dans un sens n'est plus environ que 1/2 — 1/5 ou 3/10ᵉˢ de cet intervalle, ce qui ne représente guère plus de un millième de seconde (*). Cet écart maximum de 1/560ᵉ de seconde se rapporte à un quadruple; il deviendrait de plus en plus faible à mesure qu'on augmenterait le nombre des transmissions, en supposant que ce nombre ne fût pas déjà limité par d'autres considérations. Il y a donc là une difficulté sinon insurmontable du moins très sérieuse, car il semble que la solution cherchée par M. Munier ne sera rigoureusement complète, c'est-à-dire applicable indifféremment sur tous les circuits que le jour où cet inventeur aura trouvé le moyen soit de faire fonctionner avec une précision pour ainsi dire mathématique un électro-aimant séparé de la source électrique par une ligne télégraphique quelconque, soit de s'affranchir de toutes les causes qui modifient sans cesse plus ou moins le régime de cette ligne.

On lit à ce sujet dans la notice publiée par M. Munier qu'il est plus facile qu'on ne le croit généralement d'obtenir à l'extrémité d'une ligne une action mécanique à un moment précis et que, l'espace OZ de

(*) C'est pourquoi l'orientation se règle de préférence sur la lettre N.



la *fig.* 6 fût-il divisé en 50 ou 100 parties, au lieu de 28, ce ne serait pas un obstacle à la marche de l'appareil. On y lit également que la difficulté serait moindre de produire un effet à l'aide d'*une seule* émission à un moment *rigoureusement précis* que de produire le même effet (comme dans l'appareil Baudot, par exemple) à l'aide de *plusieurs* émissions successives, le moment déterminé pour chacune d'elles fût-il moins précis que dans le premier cas. Ces assertions auraient besoin d'être prouvées, car l'opinion contraire est généralement en faveur. En général, le nombre d'émissions pouvant être effectuées utilement dans un temps donné, peut être augmenté tant que le récepteur accuse les signaux sans altération ni confusion. Il est d'autant plus élevé que la précision à obtenir est moindre, les conditions de ligne et de sensibilité restant les mêmes. La marge est relativement très grande avec l'appareil automatique de Wheatstone et avec le multiple de Meyer, dans lesquels les signaux peuvent, à la rigueur, être déformés, mais sans cesser d'être intelligibles, pourvu que tous soient reçus et qu'on puisse faire la distinction des points et des traits. M. Munier ne l'ignore pas, puisqu'il dit lui-même, au sujet des nombreuses émissions effectuées avec l'appareil Wheatstone : « Que la place d'un point n'est pas fixée à l'avance sur la bande de papier, qu'un trait plus ou moins long n'en est pas moins un trait et que le déplacement d'un point ou d'un trait par rapport aux signaux voisins ne trouble pas ou ne trouble que peu la lecture. » Il en est de même dans l'appareil multiple de Meyer, tant que les écarts, dans un sens ou dans l'autre, ne rejettent pas la réception en dehors de la fraction d'hélice afférente à un secteur. La marge

n'est pas beaucoup moindre dans l'appareil Baudot, car si chaque émission doit y produire un effet utile dans un espace déterminé, cet espace est relativement grand, et ces effets sont d'autant plus sûrs que la division du travail entre les divers organes assure leur indépendance mutuelle. Pour un même nombre de secteurs au distributeur et avec une vitesse plus grande d'un cinquième, la marge est 4,66 fois plus grande que dans le système Munier, malgré les cinq éléments nécessaires à la formation d'un caractère. Il est à remarquer en effet que, dans l'appareil Munier, la transmission d'une lettre n'occupe qu'une partie du secteur, et qu'avec un appareil quadruple installé dans les conditions auxquelles est censée se rapporter la *fig.* 6, on pourrait tout aussi facilement faire quatre émissions qu'une seule dans le même secteur, chaque émission produisant son effet *si la partie mécanique s'y prêtait*, il n'y aurait aucun inconvénient au point de vue électrique. On voit à l'inspection de cette figure que la période de propagation d'une émission due à un contact embrassant trois divisions consécutives serait à peu près de huit à neuf divisions ou environ un quart de secteur; rien n'empêcherait donc de faire une première émission au moyen des divisions 1, 2, 3, une deuxième en envoyant le courant par les divisions 10, 11, 12, une troisième par les divisions 19, 20 et 21, et une quatrième qui, commençant sur la 28e division, se prolongerait de la valeur de deux divisions sur l'intervalle ZX.

La ligne n'en serait pas plus *encrassée* (*), puisqu'elle

(*) Pour employer l'expression indiquée par la comparaison que M. Munier a cru pouvoir établir entre une ligne télégraphique et le canon d'un fusil.

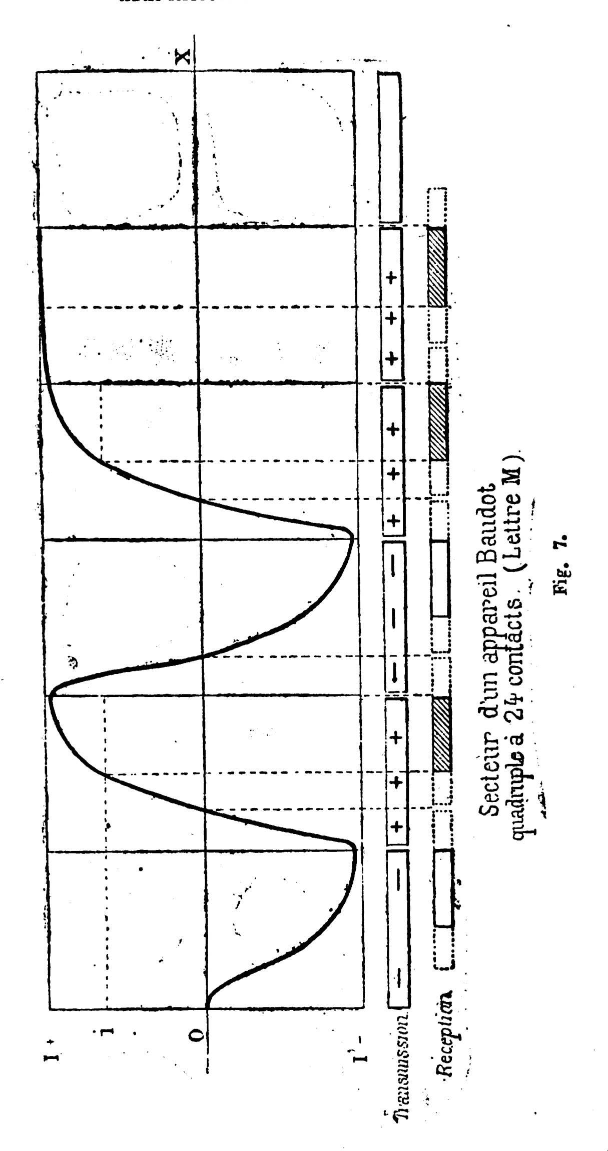


aurait le temps de se décharger et de revenir à l'état neutre entre chaque émission. Électriquement, ce nombre d'émissions par secteur pourrait encore être augmenté sans inconvénient si le conducteur et le récepteur permettaient de n'envoyer le courant que pendant deux divisions au lieu de trois, ou bien encore par l'emploi judicieux de courants de décharge ou de compensation. Comme résulat final, l'unité d'émission n'offre donc pas l'avantage qu'on serait tenté d'y voir tout d'abord et ce serait une erreur de croire qu'elle permet de multiplier le nombre des appareils. On se tromperait aussi en pensant qu'on a pour faire une émission tout le temps OX comme pourrait le laisser supposer un passage de la communication faite au mois de juin dernier à la Société internationale des électriciens; on n'a qu'une seule émission à faire, c'est vrai, mais cette émission peut ne commencer que sur le 28e contact, d'où il résulte qu'on n'a pour atteindre l'intensité convenable à l'arrivée qu'un temps égal à une partie de l'intervalle ZX augmenté de la 28e division, c'est-à-dire une partie de la période entière (charge et décharge) du courant qui commencerait sur la 28e division. On sait que, pour des lignes de même nature, la durée de cette période augmente plus vite que la longueur de la ligne, d'où il s'ensuivrait que la longueur ZX doit augmenter dans la même proportion, ce qui ne peut être obtenu qu'en diminuant le nombre des transmissions, et ce qui fait que l'emploi de l'appareil multiple Munier, tel qu'il est aujourd'hui, ne conviendrait pas pour augmenter le rendement des lignes de grande longueur ou de grande capacité. Quoi qu'il en soit d'ailleurs, et peu importe où commence l'émission, la somme du temps non utilisé du

commencement d'un secteur au commencement du secteur suivant est forcément égale à vingt-sept divisions, pendant lesquelles la ligne reste nécessairement à l'état neutre sans aucun profit pour la marche des appareils. Donc la puissance de rendement des lignes serait d'autant moins bien utilisée qu'elles comporteraient un plus grand nombre de transmissions, et dès lors le système ne semble pas appelé à obtenir le maximum de rendement ni des lignes courtes ni des lignes longues. C'est de cette mauvaise utilisation du temps, imposée d'ailleurs par le principe de l'appareil, que découle la nécessité d'une précision d'autant plus rigoureuse que le nombre des secteurs est plus grand et l'inconvénient qu'il y aurait à augmenter ce nombre au delà de quatre ou cinq, même sur les lignes courtes. On a vu, d'ailleurs, page 205, une autre cause qui s'oppose à l'augmentation du nombre des secteurs (calage en retard de la roue des types).

A ces divers points de vue, l'appareil Baudot, malgré les combinaisons de cinq émissions nécessaires à la transmission d'une lettre, présenterait donc une supériorité non seulement apparente, mais incontestable. Ce n'est pas l'occasion d'en rappeler les mérites; aussi la figure suivante (*fig.* 7) n'a-t-elle pour but que de montrer que le courant, même avec une avance ou un retard d'au moins un demi-contact, ou 1/120 de seconde à la vitesse de 150 tours, atteint encore sûrement son but.

Au point de vue de la mesure du temps, cette figure est à la même échelle que la *fig.* 6; elle se rapporte à un appareil quadrupule (distributeur à 24 contacts) tournant à raison de 150 tours par minute, tandis que l'appareil Munier a été supposé marcher à raison de



Secteur d'un appareil Baudot quadruple à 24 contacts. (Lettre M)

Fig. 7.

120 tours. Les deux figures sont également relatives

à une même ligne. Dans la *fig.* 7, OX correspond à l'état neutre, I et I′ représentent les intensités + et — du régime permanent. La courbe est celle de la lettre M formée des cinq émissions : — + — + +. Les parties pointillées des divisions de réception correspondent à des plots d'une troisième couronne, qui ne servent qu'à la réception et ont pour but de mettre la ligne directement à la terre pendant son passage sur le premier et le dernier quart de chaque division, c'est-à-dire aux moments où la destination du courant reçu pourrait être douteuse. Rigoureusement, la courbe devrait accuser ces mises à la terre, mais il n'a pas paru indispensable d'en tenir compte.

Rendement. — On a vu que le rendement n'est pas tout à fait d'une lettre par appareil et par tour. Si l'on veut établir la comparaison d'une installation *triple* (*) avec un Hughes ordinaire, avec un appareil Olsen, avec un *quadruple* (**) Meyer ou Baudot, on trouve, en comptant 5 lettres par mot, qu'il serait transmis, *par heure :*

3.500 mots	par une installation *triple*, système *Munier*, à la vitesse normale de.	120	tours par minute
4.100 —	par une installation *triple*, système *Munier*, à la vitesse maximum de.	140	—
1.850 —	par un Hughes ordinaire.	120	—
2.160 —	—	140	—
3.375 —	par un appareil Olsen	150	—
4.000 —	par un *quadruple* Meyer	100	—
6.000 —	par un *quadruple* Baudot	150	—

Un appareil Baudot *double* permet de transmettre

(*) Un appareil Munier *double* ne rendant guère plus qu'un Hughes ordinaire n'aurait pas de raison d'être.

(**) Une installation *triple* Munier correspondant en réalité à une installation *quadruple* des autres systèmes (p. 208 et suivantes).

3.300 mots de 5 lettres dans une heure à la vitesse moyenne de 165 tours.

Les observations qui précèdent ne s'appliquent qu'aux premiers appareils d'essai; elles n'ont pour but que d'appeler l'attention de M. Munier sur les difficultés à surmonter pour amener son système à un degré de perfection qui lui permette de lutter avec les systèmes en usage, malgré l'avantage qu'il présenterait déjà, en ce qui concerne la diminution des effets nuisibles de l'induction mutuelle des fils d'une même ligne, et quoique son emploi sur les lignes souterraines, en supposant qu'il fût possible, dût moins compromettre leur durée que celui d'appareils à nombreuses émissions et à courants alternés.

Ces difficultés, M. Munier espère les surmonter comme celles qu'il a déjà rencontrées dans la mise à exécution de son projet. Nous ne pouvons que faire des vœux pour le succès final de cet appareil qui renferme plusieurs organes ingénieux et d'une originalité incontestable et dont son auteur poursuit la réalisation avec une rare persévérance.

Octobre 1886.

F. Godfroy.

NOTE

SUR

LES TENSIONS DES FILS TÉLÉGRAPHIQUES

A DIVERSES TEMPÉRATURES

On sait que l'équation de la chaînette rapportée à deux axes, l'un vertical passant par le point le plus bas, l'autre horizontal à une distance h de ce point, est :

$$y = \frac{h}{2}\left(e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}\right), \text{ dans laquelle } h = \frac{T}{p},$$

T étant la tension au point le plus bas et p le poids de l'unité de longueur du fil. La longueur de la demi-chaînette, comptée à partir du point le plus bas, est :

$$Z = \frac{h}{2}\left(e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}}\right).$$

La longueur de la chaînette comprise entre deux points d'appui de même hauteur et de distance a sera donc :

$$L = h\left(e^{\frac{a}{2h}} - e^{-\frac{a}{2h}}\right)$$

ou, en développant et en remplaçant h par $\frac{T}{p}$:

$$L = a + \frac{a^3p^2}{24T^2} + \frac{a^5p^4}{1920T^4} + \dots$$

Il suffit de garder les deux premiers termes dans la pratique. On trouve pour $a = 100^m$, $L = 100{,}06$.

Si le fil subit une variation de température θ, sa longueur devient $L(1+\alpha\theta)$, α étant le coefficient de dilatation du fer, et sa nouvelle tension est T'; mais en même temps, par suite de son élasticité, il subit une variation de longueur proportionnelle à la variation de la tension $T'-T$. Si ε désigne l'allongement par unité de longueur (mètre), par unité de section (millimètre carré) et pour une augmentation de tension de 1 kilogramme, la longueur du fil deviendra :

$$L(1+\alpha\theta)\left[1+\frac{\varepsilon}{S}(T'-T)\right]=a+\frac{a^3p^2}{24T'^2}.$$

En retranchant la première équation, on a :

$$L\alpha\theta+L\frac{\varepsilon}{S}(T'-T)=\frac{a^3p^2}{24}\left(\frac{1}{T'^2}-\frac{1}{T^2}\right).$$

On peut remplacer L par a qui en diffère de $\frac{6}{10000}$ au maximum et en divisant par a :

$$\alpha\theta+\frac{\varepsilon}{S}(T'-T)=\frac{a^2p^2}{24}\left(\frac{1}{T'^2}-\frac{1}{T^2}\right).$$

On a : $T=S.t$, t étant la tension par millimètre carré; cette tension t est une fraction $\frac{1}{K}$ de la charge de rupture q par millimètre carré (38 à 40^k pour le fer). On a donc :

$$T=\frac{S.q}{K} \quad \text{et} \quad T'=\frac{S.q}{K'}.$$

Remarquons que le poids par kilomètre $P=S.d$. (P évalué en kilogramme, S en millimètre carré) alors $p=10^{-3}.S.d.$

Le coefficient de dilatation α du fer est $0,000012=10^{-6}\times 12=10^{-6}\alpha_1$.

Le coefficient d'allongement ε par mètre courant, millimètre carré de section et pour 1 kilogramme d'aug-

mentation de tension est $0{,}000055 = 10^{-6} \times 55 = 10^{-6}\varepsilon_1$.

En remplaçant, il vient :

$$\alpha_1\theta + \varepsilon_1 q\left(\frac{1}{K'} - \frac{1}{K}\right) = \frac{a^2 d^2}{24q^2}(K'^2 - K^2),$$

d'où, en résolvant par rapport à θ :

$$(1) \quad \theta = \left(\frac{a^2 d^2}{24\alpha_1 q^2} K'^2 - \frac{\varepsilon_1 q}{\alpha_1}\frac{1}{K'}\right) - \left(\frac{a^2 d^2}{24\alpha_1 q^2} K^2 - \frac{\varepsilon_1 q}{\alpha_1}\frac{1}{K}\right),$$

θ étant compté à partir de la température pour laquelle le coefficient de sécurité est donné et égal à $\frac{1}{K}$.

On peut donc calculer une table donnant θ pour les diverses valeurs de K′ et par suite de la tension et de la flèche.

Nous supposerons que, pour une température de 0°, le coefficient de sécurité $\frac{1}{K}$ sera $\frac{1}{5}$ au 0,20, c'est-à-dire le fer travaillera au $\frac{1}{5}$ de la charge de rupture.

Prenons pour le fer $q = 39^k$, $d = 7{,}8$ (*). On aura (en supposant l'accent de K′ supprimé) :

$$(2) \quad \theta = \left(\frac{a^2}{7200} K^2 - 179\,\frac{1}{K}\right) - \left(\frac{a^2}{288} - 35{,}8\right).$$

(*) *Remarque.* — En prenant $q = 39^k$ on voit que la densité $d = \frac{q}{5}$ par suite $S.d = P = \frac{S.q}{5}$. Le poids kilométrique est donc le $\frac{1}{5}$ de la charge de rupture et quand le fil travaille au $\frac{1}{5}$ de la charge de rupture, sa tension est égale à son poids kilométrique, et la flèche $f_0 = \frac{a^2 p}{8T}$ est $f_0 = \frac{a^2}{8.000}$.

On peut évaluer la tension en fonction du poids qui est bien connu pour chaque fil et on aura :

$$T = \frac{5}{K}\,P = \frac{P}{\beta}$$

et

$$f = \frac{K}{5}\,f_0 = \beta f_0.$$

Ces coefficients sont calculés dans la table.

Dans cette équation, on a fait $a = 60^m$, 70^m, 80^m, 90^m, 100^m, puis on a calculé θ pour diverses valeurs de K, 4, 4,25, 4,50..., 7.

On voit que la table convient au cas de la pratique, car, par les plus grands froids, le fil travaillera à $\frac{1}{4}$ de la charge de rupture, et à une température moyenne (de 15° à 20° suivant les portées), il travaille au $\frac{1}{6}$ de la charge de rupture, coefficient généralement admis.

L'usage de la table est très simple.

Supposons une ligne en fil de 5 millimètres ($P = 156^k$) avec des portées de 80 mètres. A la température de 16°, le fil devra avoir une tension de $156 \times 0,83 = 130$ K, et la flèche sera $0,80 \times 1,20 = 0^m,96$. A 0°, sa tension sera égale à son poids $\left(\frac{1}{5}\text{ de la charge de rupture}\right)$.

On aurait pu se poser le problème suivant :

Calculer une table donnant les diverses valeurs de K et de θ en supposant qu'à une température déterminée la tension ne doit pas dépasser une certaine fraction de la charge de rupture. Par exemple, admettre qu'à $-20°$, la tension sera $\frac{1}{4}$ de la charge de rupture. On aurait alors :

$$-20° + \theta = \left(\frac{a^2}{7200}K^2 - 179\frac{1}{K}\right) - \left(\frac{a^2}{450} - 44,7\right),$$

mais les différences avec la première table sont faibles et il est plus simple d'admettre qu'à 0° la tension sera $\frac{1}{5}$ de la charge de rupture, c'est-à-dire le poids kilométrique.

On peut remarquer que le coefficient β, qui est égal à $\frac{K}{5}$, augmente à peu près proportionnellement à θ (voir la table), c'est-à-dire est de la forme $1 + m\theta$. Cherchons à obtenir m, afin de pouvoir facilement calculer la tension et la flèche quand on n'a pas de table.

L'équation (1) devient :

$$\theta = \left(\frac{a^2}{24\alpha_1}\beta^2 - \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1}\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{a^2}{24\alpha_1} - \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1}\right),$$

et

$$\frac{a^2}{24\alpha_1}\beta^3 - \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1} - \frac{a^2}{24\alpha_1}\beta + \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1}\beta - \theta\beta = 0.$$

Remplaçons β par $1 + m\theta$, il vient, après réduction et division par θ et en groupant tous les termes en θ :

$$\theta\left(\frac{a^2 m}{24\alpha_1}(3 + m\theta) - 1\right)m + m\left(\frac{a^2}{12\alpha_1} + \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1}\right) - 1 = 0.$$

Le premier coefficient de m, celui qui contient θ, est négligeable devant le second. Pour $a = 80^m$, la table montre que $m = 0{,}012$ environ, et si on prend $\theta = 40°$ (température extrême), on trouve pour le premier coefficient de m le nombre 2,6, tandis que le second est 80,3. On peut donc négliger le terme en θ et on tire :

$$(3) \qquad m = \frac{1}{\frac{a^2}{12.\alpha_1} + \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1}} = \frac{1}{\frac{a^2}{144} + 35{,}8} \text{ pour le fer.}$$

Cherchons, au moyen de cette formule et des formules $\beta = 1 + m\theta$ (4), $T = \frac{P}{\beta}$ (5), quelle est la tension d'un fil de 4 millimètres à 20° pour une portée de 80 mètres (en supposant toujours qu'à 0° ce fil sera tendu au $\frac{1}{5}$ de sa charge de rupture). On trouve :

$$m = 0{,}0124, \quad \beta = 1.248, \quad T = \frac{100^k}{1.248} = 80^k.$$

Table des tensions des fils de fer à diverses températures.

COEFFICIENTS.			TENSIONS POUR FILS DE			FLÈCHES POUR PORTÉES					TEMPÉRATURES CORRESPONDANT AUX PORTÉES DE				
$\frac{1}{K}$ Coefficient de sécurité.	$\beta = \frac{K}{5}$	$\frac{1}{\beta} = \frac{5}{K}$	3mm	4mm	5mm	60m	70m	80m	90m	100m	60m	70m	80m	90m	100m
			$T = \frac{1}{\beta} P$			$f = f_0 \beta$									
			kil.	kil.	kil.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	degrés	degrés	degrés	degrés	degrés
1/3,50	0,70	1,43	80	143	223	0,31	0,43	0,56	0,71	0,87	—22	—24	»	»	»
1/3,75	0,75	1,34	75	134	210	0,34	0,46	0,60	0,76	0,94	—17,5	—19	—22	—24	»
1/4	0,80	1,25	70	125	195	0,36	0,49	0,64	0,81	1	—13,5	—15	—17	—19	—21,5
1/4,25	0,85	1,18	66	118	184	0,38	0,52	0,68	0,86	1,06	—10	—11	—12,5	—14	—16
1/4,50	0,90	1,11	62	111	174	0,40	0,55	0,72	0,91	1,12	— 6,5	— 7	— 8	— 9	—10,5
1/4,75	0,95	1,05	59	105	165	0,43	0,58	0,76	0,96	1,19	— 3	— 3,5	— 4	— 4,5	— 5
1/5	1	1	56	100	156	0,45	0,61	0,80	1,01	1,25	0	0	0	0	0
1/5,25	1,05	0,95	53	95	148	0,47	0,64	0,84	1,06	1,31	3	3,5	4	4,5	5
1/5,50	1,10	0,91	51	91	142	0,50	0,67	0,88	1,11	1,38	6	7	8	9	10,5
1/5,75	1,15	0,87	49	87	136	0,52	0,70	0,92	1,16	1,44	8,5	10	12	14	16
1/6	1,20	0,83	46	83	130	0,54	0,73	0,96	1,21	1,50	11,5	13,5	16	18,5	21,5
1/6,25	1,25	0,80	45	80	125	0,56	0,76	1	1,26	1,56	14	17	20	23	27
1/6,50	1,30	0,77	43	77	120	0,58	0,79	1,04	1,31	1,62	17	20	24	27,5	32,5
1/6,75	1,35	0,74	42	74	115	0,61	0,82	1,08	1,36	1,69	19,5	23	28	32,5	38
1/7	1,40	0,71	40	71	111	0,63	0,85	1,12	1,41	1,75	22	26,5	31,5	37,5	43,5
1/7,25	1,45	0,69	38	69	108	0,65	0,88	1,16	1,46	1,82	24,5	29,5	35	41,5	»
1/7,50	1,50	0,66	37	66	104	0,67	0,91	1,20	1,51	1,88	27,5	33	38,5	45,5	»
1/7,75	1,55	0,64	36	64	100	0,70	0,94	1,24	1,56	1,94	30	36,5	»	»	»
1/8	1,60	0,63	35	63	98	0,72	0,97	1,28	1,61	2	33	40	»	»	»

La table donne $\beta = 1{,}25$, c'est-à-dire le même coefficient.

Autre exemple : Quelle est la tension à $-20°$ d'un fil de 4 millimètres pour une portée de 80 mètres? $\left(\text{à } 0° \text{ ce fil étant tendu au } \frac{1}{5} \text{ de sa charge de rupture.}\right)$ On a :

$$m = 0{,}0109, \quad \beta = 0{,}782, \quad T = \frac{100}{0.782} = 128^k.$$

Dans le tableau, on trouve pour $\theta = -19°$, $\beta = 0{,}80$.

L'approximation est donc bien suffisante et les formules (3), (4) et (5) suffisent pour calculer β quand on n'a pas de table.

1er avril 1887.

A. Barbarat.

LOCALISATION DES DÉFAUTS

DANS LES CABLES SOUS-MARINS

Dans un précédent article sur le même sujet (mars-avril 1885), on a vu que par deux mesures de résistance et l'emploi des formules de Blavier on peut déterminer la position d'un défaut d'isolement dans un câble.

Lorsque le câble est rompu, ces deux mesures se réduisent à la mesure de la résistance de la section du conducteur comprise entre la rupture et l'extrémité du câble où se fait l'essai.

Il arrive quelquefois que le conducteur d'un câble est rompu sans que la gaine isolante soit déchirée; dans ce cas, on détermine la position du défaut par une mesure de capacité.

Mais, en général, la localisation des défauts s'obtient par une ou deux mesures de résistance du conducteur.

Ces mesures, qui se font comme d'habitude en employant le pont de Wheatstone, sont rendues fort délicates par la présence de courants étrangers qui circulent dans le conducteur.

Courants étrangers circulant dans les câbles. — Ces courants étrangers sont de deux sortes :

1° Les courants terrestres :

La force électromotrice de ces courants est due à la

différence des potentiels aux extrémités et au point défectueux du câble. Elle est parfois constante, mais en général variable.

Elle n'est, en aucune façon, modifiée par les courants d'essai employés par l'électricien.

2° Le courant naturel du défaut :

La force électromotrice de ce courant est due à ce que l'on a, en présence de l'eau de mer, deux métaux différemment attaquables, à savoir : le fer ou l'acier, galvanisé ou non galvanisé de l'armure protectrice du câble, le cuivre du conducteur qui se trouve plus ou moins dépourvu de gutta-percha et mis à nu à l'endroit du défaut.

Ce courant naturel, que l'on observe facilement en mettant le câble à la terre à travers un galvanomètre, est un courant positif; sortant du câble, autrement dit à l'extérieur du défaut, le courant naturel va du cuivre au fer (*fig.* 1).

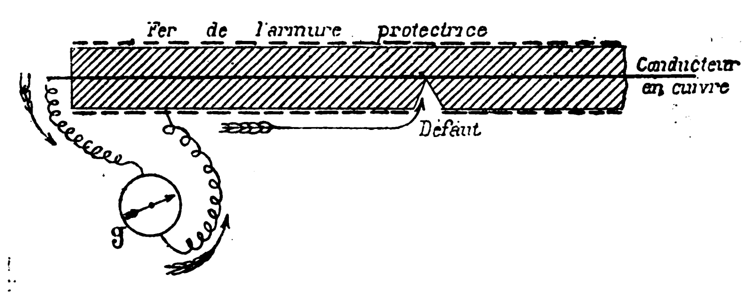


Fig. 1.

La force électromotrice de ce courant varie beaucoup avec l'état du cuivre au défaut; elle a des valeurs différentes selon que le cuivre est plus ou moins recouvert de dépôts salins dus à l'action de l'eau de mer.

Les courants d'essai lui font subir de fortes modifications. Le courant positif d'essai, en traversant le défaut, a pour effet immédiat d'oxyder le cuivre en présence de l'eau de mer et de donner lieu à un oxychlorure qui n'est pas absolument adhérent au cuivre. Sous l'action continue du courant, il se désagrège peu à peu à partir d'un certain moment et tombe dans l'eau. L'épaisseur de la couche saline n'augmente pas indéfiniment, mais reste constante à partir d'une certaine limite. Il résulte, comme on le verra plus loin, de cette action du courant positif des variations pour la résistance du défaut.

Le courant positif d'essai crée ainsi un courant de polarisation de direction opposée à la sienne, c'est-à-dire de même sens que le courant naturel du câble.

Il renforce donc le courant naturel du câble.

La variation, avec le temps, de la force électromotrice du courant naturel par suite de l'envoi du courant positif de la pile d'essai, peut se représenter par une courbe de la forme (A) (*fig.* 2) :

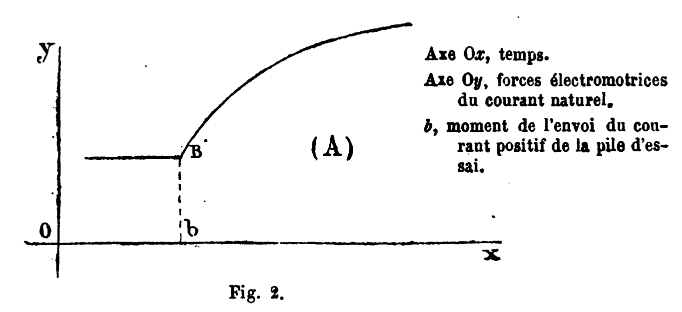


Fig. 2.

Le courant négatif d'essai, au contraire, en déposant de l'hydrogène sur le cuivre, détruit les dépôts salins et remet le cuivre dans l'état brillant; son premier effet est donc une diminution de la force électro-

motrice du courant naturel. Une fois les sels détruits, le gaz qui continue à se déposer sur le cuivre se dégage à mesure si la surface du cuivre dénudé est suffisamment grande, sinon, il reste à l'état de bulles sur le cuivre; ces bulles augmentent de volume peu à peu et finissent par se dégager en partie pour être remplacées par d'autres.

Le courant négatif d'essai détermine une force électromotrice de polarisation de sens contraire à la force électromotrice du courant naturel. Elle a d'abord une valeur inférieure, elle lui devient égale à un certain moment et enfin supérieure. En observant avec un galvanomètre le courant naturel du câble, on constate que, suivant la durée d'action du courant négatif d'essai, il est ou positif ou négatif sortant.

Il y a un moment précis où le câble n'est parcouru par aucun courant naturel. La variation, avec le temps, de la force électromotrice du courant naturel par suite de l'envoi du courant négatif de la pile d'essai, peut se représenter par une courbe de la forme (B) (*fig.* 3).

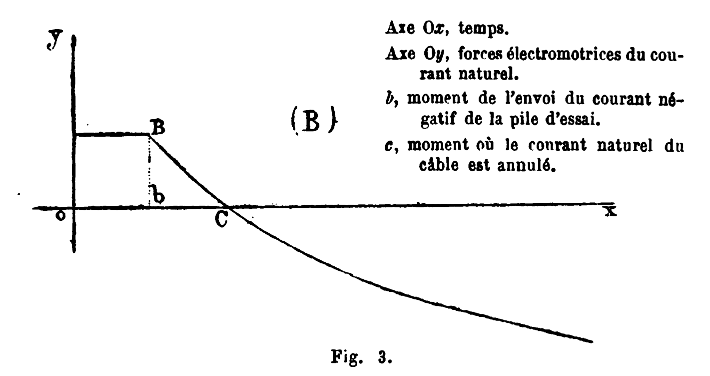


Fig. 3.

Les divers courants étrangers parcourant un conducteur peuvent être théoriquement remplacés par un

courant résultant dont la force électromotrice (e) est donnée en sens et grandeur par la somme algébrique des forces électromotrices des courants composants. D'ailleurs, pratiquement, on ne peut observer avec un galvanomètre que le courant résultant.

MESURE PAR LE PONT DE WHEATSTONE DE LA RÉSISTANCE D'UN CONDUCTEUR PARCOURU PAR UN COURANT.

Lorsque le conducteur de résistance inconnue x n'est parcouru par aucun courant étranger, on a, entre cette résistance et les résistances des branches de proportion a, b et de la branche de comparaison c, qui établissent l'équilibre du pont, la relation (1)

$$(1) \qquad x = \frac{a}{b} \times c$$

indépendante du sens et de la grandeur de la force électromotrice de la pile d'essai. Lorsque le conducteur x est parcouru par un courant étranger de force

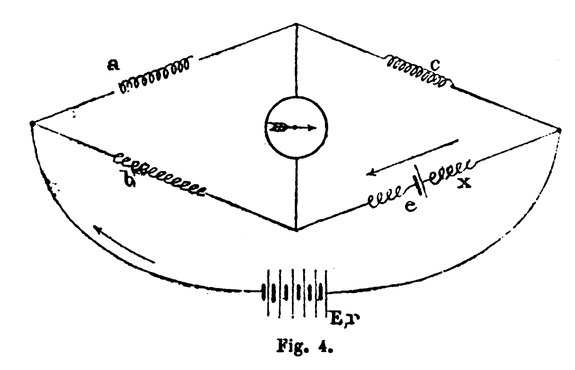


Fig. 4.

électromotrice constante (e), la relation (1) est remplacée par la relation (2) dans laquelle E et r repré-

sentent la force électromotrice et la résistance de la pile d'essai :

$$(2) \qquad x = \frac{a}{b}c + \frac{(\pm e)}{E}\left[\frac{a(c+r)+b(a+r)}{b}\right].$$

Si la force électromotrice e du courant étranger est inconnue et si on ne veut pas la mesurer ou du moins mesurer le rapport $\frac{e}{E}$, on peut facilement avoir deux équations (2) entre x et $\frac{e}{E}$ qui permettent l'élimination du rapport inconnu.

Ainsi, en déterminant les résistances $c_1 c_2$ de la branche de comparaison qui donnent l'équilibre du pont :

c_1, avec le courant positif de la pile d'essai.,
c_2, id. négatif id.,

on peut calculer la valeur de la résistance inconnue x par la formule (3) :

$$(3) \qquad x = \frac{a}{b} \times \frac{(c_1 + c_1)\left[r\left(1+\frac{b}{a}\right)+b\right] + 2c_1c_2}{2\left[r\left(1+\frac{b}{a}\right)+b\right] + (c_1 + c_2)}.$$

Cette méthode de mesure de la résistance d'un conducteur parcouru par un courant est connue sous le nom : *Méthode du pont de Wheatstone à double courant.*

Elle n'est applicable que si la force électromotrice du courant étranger est constante. C'est ainsi qu'on peut l'employer pour la mesure de la résistance du conducteur d'un câble en bon état qui a une assez grande longueur. Un pareil câble est presque toujours parcouru par des courants terrestres dont on peut con-

sidérer la force électromotrice comme constante pendant le laps de temps nécessaire pour trouver les deux équilibres c_1 c_2 du pont.

On ne peut guère employer cette méthode d'une façon sûre et précise pour localiser le défaut d'un câble sous-marin. Le courant naturel du câble est, en effet, très instable, et sa force électromotrice subit des modifications rapides et de sens contraires avec les courants positifs et négatifs de la pile d'essai.

Le pont à double courant ne donne, en pareil cas, que des résultats approximatifs et majorés. La majoration est évidemment d'autant plus faible que l'on a obtenu rapidement et à des époques aussi rapprochées que possible les deux équilibres c_1 c_2.

Pour éviter cet inconvénient et employer le pont de Wheatstone ordinaire, on a imaginé plusieurs méthodes : de Lumsden, de Fahie, de la pile opposée au courant naturel; enfin, celle due à Henry Mance et qui a été publiée dans le numéro 53 du volume XIII (1884) du *Journal of the Society of telegraph engineers and electricians*. Cette dernière m'a paru donner, dans la pratique, des résultats sûrs, tout en étant d'un emploi rapide et facile.

MÉTHODE DE CORRECTION DE MANCE.

I. *Étude théorique.*

Pour appliquer le pont de Wheatstone à la mesure de la résistance d'un conducteur parcouru par un courant étranger de force électromotrice inconnue, il faut pouvoir obtenir deux équilibres différents. Entre les deux équations correspondantes, on élimine la force électromotrice du courant étranger. Ceci suppose que

cette force électromotrice est la même pour les deux équilibres du pont. C'est cette condition essentielle qui n'est pas remplie dans la méthode du pont à double courant, puisque le courant naturel est fortement altéré et dans des sens différents par les courants de la pile d'essai.

Si on peut obtenir deux équilibres différents, consécutifs et à des époques aussi rapprochées que possible, avec un courant de pile toujours de même sens, en faisant varier une ou plusieurs des résistances a, b, c, on a deux équations établies dans des conditions où l'on peut considérer comme pratiquement constante la force électromotrice du courant naturel. C'est sur cette remarque qu'est basée *la méthode de correction de Mance pour éliminer les effets des courants étrangers dans la mesure des résistances par le pont de Wheatstone.*

Elle consiste à obtenir deux équilibres du pont avec le même courant de la pile d'essai, mais en changeant les deux branches de proportion a et b.

Soit c_1 la valeur de la branche de comparaison qui donne l'équilibre du pont pour les branches de proportion a_1 et b_1 et soit c_2 la valeur correspondante pour les branches de proportion a_2, b_2.

En supposant que la force électromotrice du courant étranger soit restée constante entre ces deux équilibres, on a les deux équations :

$$(4) \qquad x = \frac{a_1}{b_1} c_1 \pm \frac{e}{E} \left[\frac{a_1(c_1 + r) + b_1(a_1 + r)}{b_1} \right],$$

$$(5) \qquad x = \frac{a_2}{b_2} c_2 \pm \frac{e}{E} \left[\frac{a_2(c_2 + r) + b_2(a_2 + r)}{b_2} \right].$$

En éliminant $\frac{e}{E}$ entre ces deux équations, on obtient

l'équation (6) qui donne la valeur de x en fonction des quantités connues a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, r.

$$(6) \quad \frac{b_1x - a_1c_1}{a_1(c_1 + r) + b_1(a_1 + r)} = \frac{b_2x - a_2c_2}{a_2(c_2 + r) + b_2(a_2 + r)}.$$

Cette équation se simplifie beaucoup si l'on prend pour a_1 et b_1 une série de valeurs égales et pour a_2, b_2 une autre série de valeurs égales, ce que l'on peut presque toujours faire pratiquement avec les caisses de résistance dites : *Ponts de Wheatstone.*

En faisant $a_1 = b_1$, $a_2 = b_2$ dans l'équation (6), elle devient :

$$(7) \qquad \frac{x - c_1}{a_1 + c_1 + 2r} = \frac{x - c_2}{a_2 + c_2 + 2r},$$

d'où l'on tire :

$$(8) \qquad x = \frac{c_1(a_2 + 2r) - c_2(a_1 + 2r)}{(a_2 + c_2) - (a_1 + c_1)}.$$

C'est la formule de correction de Mance.

Au lieu de modifier les deux branches de proportion d'une façon quelconque (équation 6) ou bien de changer leurs valeurs tout en conservant la même valeur 1 pour leur rapport (équation 7), on pourrait encore obtenir d'autres formules de correction.

Ainsi :

1° En modifiant une seule des branches de proportion : si c'est la branche non adjacente à la résistance inconnue qui est modifiée, le courant traversant la faute sera très légèrement changé. Cette solution présenterait donc l'avantage de moins altérer le défaut, mais la formule de correction n'est pas aussi avantageuse pour le calcul que la formule (8).

2° En changeant la résistance du circuit de la pile. Cette méthode aurait l'avantage de la précédente de

ne donner lieu qu'à un seul changement au lieu de deux pour passer du premier au second équilibre; il en résulterait que l'on mettrait moins de temps pour obtenir ces deux équilibres et, par suite, une moins grande altération de défaut. Mais cette façon d'opérer, en changeant d'une façon notable l'intensité du courant d'essai, altèrerait le courant traversant le défaut et, par suite, celui-ci.

Parmi ces diverses formules de correction, chacune a ses avantages et ses inconvénients. Nous allons étudier, au point de vue pratique, celle qui a été étudiée par Mance et qui fournit d'ailleurs des résultats très exacts.

II. *Étude pratique.*

Installation des appareils. — On adopte l'installation ordinaire du pont telle qu'elle est indiquée dans la *fig.* 5.

Elle comprend :

1° Le galvanomètre avec sa caisse de résistances de dérivation (Shunt);

2° Une clef de court circuit comme clef de galvanomètre : on l'accompagne quelquefois d'une clef d'inversion de courant pour diriger l'entrée du courant dans le galvanomètre;

3° Une clef d'inversion de courant comme clef de pile afin de pouvoir employer, à volonté, le courant positif ou le courant négatif de la pile du pont;

4° Un rhéostat avec pont de Wheatstone, qui peut être d'un modèle quelconque.

Cependant un pont du type de la figure, et que l'on appelle pont à arêtes de poisson, ou d'un type analo-

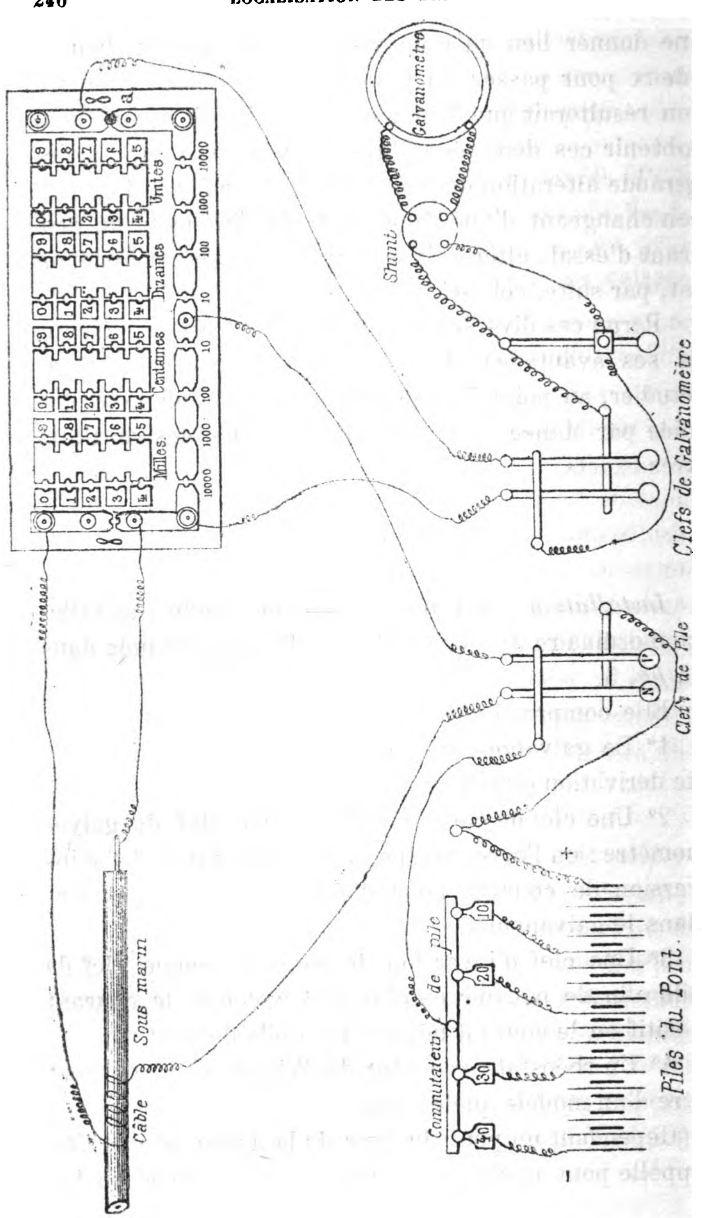

Galvanomètre
Shunt
Clefs de Galvanomètre
Clef de Pile
Milles.
Centaines
Unites
Commutateur de pile
Piles du Pont
Câble Sous marin

Fig. 5

gue, comme le pont à cadrans, est préférable au pont de Siemens ou au pont du Post Office.

Ces deux derniers offrent cependant l'avantage que le déplacement d'une cheville quelconque n'interrompt pas le circuit ; mais cet inconvénient disparaît avec les ponts à arêtes de poisson et à cadrans si on a soin de n'enlever la cheville de l'une des séries qu'après avoir enfoncé la cheville qui doit la remplacer. Les ponts à arêtes de poisson et à cadrans sont d'un emploi très commode dans les essais par la méthode de Mance parce qu'ils permettent, dans la généralité des cas, de préparer simultanément deux réglages et de passer rapidement de l'un à l'autre par le déplacement ou l'enlèvement de une ou deux chevilles. Il en résulte une très grande rapidité de manœuvre et, par suite, on obtient de meilleurs résultats. Une condition capitale que doit remplir le pont quelconque employé quand on opère par la méthode de Mance est que les diverses bobines des branches de proportion soient bien étalonnées, ou du moins, il est nécessaire de connaître leurs valeurs exactes. Pour les calculs de la résistance corrigée, on devra employer soit la formule (7), soit la formule (6), selon que les branches de proportion sont ou ne sont pas bien étalonnées.

Pile d'essai. — Elle doit être aussi constante que possible, c'est-à-dire impolarisable. En outre, elle est d'autant meilleure que sa résistance intérieure est plus faible. Dans les expériences à terre, il est préférable d'employer des éléments Callaud d'un modèle peu résistant ; cependant les éléments Leclanché rendent de bons services si l'ensemble du circuit qui constitue le pont de Wheatstone n'est pas d'une résistance un peu faible.

A bord des navires qui réparent les câbles sous-marins, l'usage des éléments Leclanché est presque imposé. On pourrait les remplacer par des Minotto, si la forte résistance de ces éléments ne les rendait désavantageux pour l'emploi de la méthode de Mance, à cause de l'importance de la correction.

Il faut être sûr que la pile d'essai est dans de bonnes conditions ; aussi, on doit la vérifier le plus souvent possible en mesurant sa force électromotrice et sa résistance intérieure ; cette dernière doit être connue avec une très grande approximation. Lorsque le défaut à localiser est très petit, c'est-à-dire qu'il a une résistance de 200 à 300 ohms, l'envoi d'un fort courant négatif accroîtra énormément sa résistance par suite de l'impossibilité qu'ont les bulles d'hydrogène à se dégager. Un fort courant positif l'accroîtra aussi beaucoup en bouchant partiellement le défaut. Aussi, en pareil cas, une pile d'essai faible donnera fréquemment de meilleurs résultats qu'une pile forte. Lorsqu'il y a une issue libre pour l'hydrogène qui se produit sur le défaut, il vaut mieux employer une pile modérément énergique.

On verra plus loin, à propos de la résistance du défaut, qu'il est très avantageux d'employer quand on le peut des piles fortes.

Sens du courant. — La méthode de Mance ne fixe pas d'une façon absolue le sens du courant de la pile d'essai, et elle est applicable aussi bien avec le courant positif qu'avec le courant négatif ; mais, comme le courant positif agit d'une façon plus rapide que le courant négatif pour modifier l'état physique du défaut, les essais avec ce courant sont moins sûrs. D'autre part, le courant positif a pour effet d'augmen-

ter la résistance du défaut, qui est une quantité, en général, difficile à apprécier. Par suite, il vaut mieux que cette résistance ait des valeurs faibles que des valeurs fortes. Or, avec le courant négatif, on peut se rapprocher de la résistance minimum.

En général, il est préférable d'employer le courant négatif de la pile d'essai.

Expérimentation. — Il faut faire aussi rapidement que possible deux observations consécutives avec le *même* courant de la pile du pont.

Le courant de cette pile ne doit pas être enlevé ou renversé durant tout le temps des deux observations.

On peut faire la première avec les branches de proportion les plus faibles, ou bien avec les branches de proportion les plus fortes. Cela est sans importance et à la volonté de chaque expérimentateur ; mais il est bon qu'après avoir adopté une façon d'opérer, on ne s'en écarte pas.

De cette façon, l'on est guidé par l'habitude de voir les mêmes phénomènes produire toujours les mêmes effets, et l'on est plus apte à saisir les diverses petites anomalies qui peuvent se présenter.

On peut, par exemple, adopter le système de Mance et faire la première observation avec le moins résistant des deux groupes de branches de proportion que l'on a choisis.

On a en effet, en général, à choisir entre les trois groupes 10 et 10, 100 et 100, 1000 et 1000. Voici comment on doit faire le choix.

Lorsque, par des observations préliminaires, on aura constaté que la résistance à mesurer est comprise entre 0 et 100 ohms, on emploiera le groupe 10 et

10 pour la première observation et le groupe 100 et 100 pour la seconde.

Si la résistance à mesurer est comprise entre 100 et 1000 ohms ou supérieure, on emploiera les groupes : 1° 100 et 100; 2° 1000 et 1000.

On maintient la première observation jusqu'à ce qu'on ait trouvé un équilibre stable.

On met alors un instant le galvanomètre en court circuit pour passer du premier au second groupe des branches de proportion ; puis, après avoir remis le galvanomètre en circuit, on cherche le nouvel équilibre du pont par le réglage *aussi rapide que possible* de la branche de comparaison.

Soient :

R_1 la résistance de la branche de comparaison qui donne l'équilibre avec les branches de proportion les plus faibles;
P_1 la résistance de l'une de ces branches;
R_2 la résistance de la branche de comparaison qui donne l'équilibre avec les branches de proportion les plus fortes;
P_2 la résistance de l'une de ces branches;
R la résistance corrigée;
r la résistance intérieure de la pile d'essai.

En supposant que les deux résultats R_1 et R_2 correspondent à des équilibres parfaits, et, qu'entre les deux observations, il ne s'est pas produit de variation appréciable dans la force électromotrice des courants étrangers, on a :

$$R = \frac{R_1(2r + P_2) - R_2(2r + P_1)}{P_2 - P_1 + R_2 - R_1} \tag{9}$$

qui est la forme sous laquelle l'électricien anglais a donné sa formule de correction.

Il est bon de répéter plusieurs fois de suite l'ensemble des deux observations et de choisir, parmi les ré-

sultats, le meilleur groupe pour l'introduire dans la formule précédente. On peut même calculer tous les groupes pour se rendre compte de la variation de l'état du défaut. On verra ainsi qu'avec des R_1 et des R_2, très différents et variant parfois de plusieurs centaines d'ohms on arrive approximativement aux mêmes résultats corrigés. Quand on a ainsi plusieurs groupes de R_1 et R_2 à faire entrer dans les calculs, il est bon de remarquer que la formule de correction est de la forme :

$$R = \frac{AR_1 - BR_2}{C + R_2 - R_1}, \tag{10}$$

dans laquelle A, B, C, sont des coefficients constants.

Remarque I. — Une des deux observations R_1, R_2 est obtenue avec plus de précision que l'autre. C'est celle qui se rapproche le plus de l'un des nombres P_1, P_2. Dans ce cas, on est, en effet, plus rapproché du maximum de sensibilité du pont.

Remarque II. — En général, au commencement de l'essai d'un câble défectueux, si l'on emploie le courant négatif de la pile, les R_2 pris avec les branches de proportion les plus résistantes ont des valeurs supérieures aux R_1 ; c'est l'inverse qui arrive si l'on emploie le courant positif de la pile.

Ces conclusions sont quelquefois renversées, ce qui est dû aux courants terrestres qui parcourent le câble et qui sont plus intenses que le courant naturel du défaut.

Remarque III. — Lorsqu'un câble défectueux n'est parcouru que par le courant naturel dû au défaut, si on l'essaie d'une façon continue avec le courant négatif de la pile sans enlever le courant, à mesure que celui-ci agit sur le défaut, il détruit peu à peu sa polarisa-

tion positive pour la remplacer ensuite par une polarisation négative.

Cela se traduit par une décroissance simultanée de R_1 et R_2 qui tendent vers une même limite (R calculé). Après avoir atteint cette limite, ils continuent à décroître simultanément; mais R_2, qui était jusqu'ici supérieur à R_1, lui devient inférieur. R calculé conserve à peu près la même valeur, en général un peu plus faible.

Les courbes de la *fig.* 6 représentent fort bien la

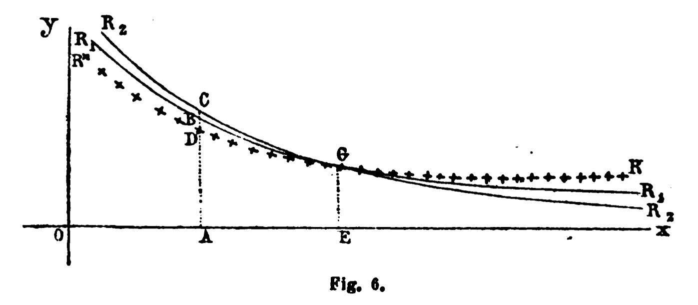


Fig. 6.

marche du phénomène. Sur l'axe des abscisses sont portés les temps à partir du moment de l'envoi du courant négatif de la pile.

Sur l'axe des ordonnées on porte les résistances $AB = R_1$, $AC = R_2$ observées à l'instant OA et la résistance $AD = R$ calculée au moyen des deux autres. On a : $R_2 > R_1$ tant que la force électromotrice positive du courant naturel n'est pas annulée;

$$R < R_1 \quad \text{et} \quad R_2 ;$$

$R_2 = R_1$ à l'instant précis où cette force électromotrice est annulée, c'est-à-dire où le câble n'est parcouru par aucun courant naturel.

$$R = R_1 = R_2 ;$$

$R_2 < R_1$ à partir du moment où le câble a pris une polarisation négative :

$$R > R_1 \quad \text{et} \quad R_2.$$

Lorsqu'en suivant ainsi les variations de R_1 et R_2 on se trouve dépasser le point critique ou $R_1 = R_2$, on peut revenir en arrière et observer de nouveau ce point. Il suffit pour cela de rendre au câble sa polarisation positive par l'application pendant un certain temps du courant positif d'une pile d'une force électromotrice convenable.

RÉSISTANCE DES DÉFAUTS.

Le cuivre dénudé soit en un point de rupture, soit en un point où un câble présente un défaut d'isolement, n'établit jamais une *terre parfaite*, autrement dit, il présente toujours une certaine résistance au passage de l'électricité pour se perdre dans la mer.

Résistance propre. — La valeur de cette résistance dépend, d'une part, de la nature du cuivre et du diamètre du conducteur et, d'autre part, de la surface totale de cuivre en contact avec l'eau de mer. Elle est d'autant plus faible que cette surface est plus grande. Cette résistance, qui est une constante d'une valeur particulière pour chaque défaut, peut être appelée la *résistance propre* du défaut. Elle est la seule à gêner le passage de l'électricité du cuivre à l'eau de mer lorsque le défaut vient à se déclarer dans un câble.

Résistance des dépôts électrolytiques. — Peu à peu, surtout si le câble est mis à la terre par l'une ou par ses deux extrémités et qu'ainsi le circuit des courants

étrangers puisse être fermé, le cuivre se recouvre de dépôts salins qui présentent, eux aussi, une certaine résistance.

Ces dépôts salins sont accrus par l'action du courant positif de la pile d'essai, ce qui produit une augmentation de résistance. La variation de résistance, avec la durée d'action du courant positif, peut se représenter par une courbe de la forme ABCD obtenue en prenant comme abscisses les temps et comme ordonnées les résistances correspondantes du défaut calculées avec les diverses valeurs de R_1 et de R_2 (*fig.* 7). Dans cette

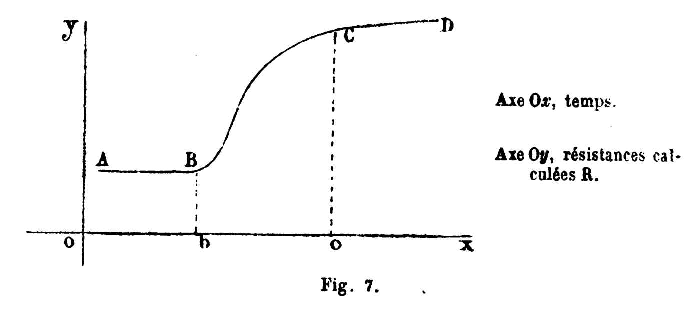


Fig. 7.

courbe, AB, parallèle à *ox*, représente la résistance constante du défaut jusqu'au moment de l'envoi du courant positif d'essai; BC l'augmentation rapide de résistance pendant les premiers instants d'action; CD l'augmentation lente et continue jusqu'à une certaine limite qui se produit ensuite :

Le courant négatif, au contraire, en détruisant peu à peu les dépôts salins, produit une diminution de résistance. Mais si son action se prolonge au delà de l'instant où les dépôts sont complètement brûlés, l'hydrogène qu'il dépose à la place sur le cuivre produit une augmentation de résistance. Lorsque la couche gazeuse a atteint son maximum d'épaisseur, va-

riable avec chaque défaut, l'hydrogène se dégage bulle par bulle en produisant des variations périodiques de la résistance du défaut.

La variation de la résistance du défaut avec la durée d'action du courant négatif peut se représenter par

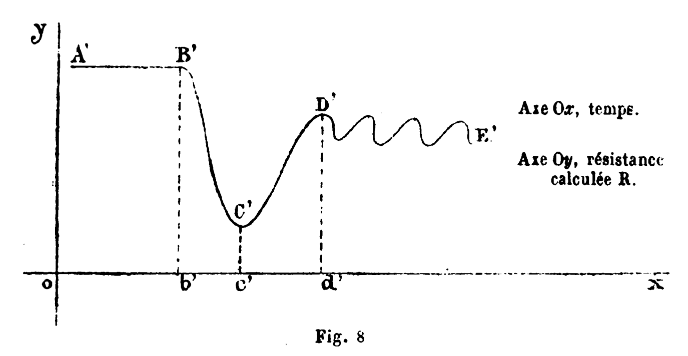


Fig. 8

une courbe de la forme A'B'C'D'E' construite de la même façon que la précédente et dans laquelle

A'B' représente la résistance constante du défaut jusqu'au moment de l'envoi du courant négatif.

B'C' la diminution très rapide de la résistance durant les premiers instants de l'action du courant.

C'c' la résistance minimum du défaut, c'est-à-dire la *résistance propre*.

C'D' l'augmentation de résistance due aux dépôts gazeux jusqu'à la valeur limite D'*d'* à partir de laquelle commence le régime périodique, c'est-à-dire le dégagement des bulles d'hydrogène (voir, dans le numéro de mars-avril 1885, l'article de M. P. Bayol sur la protection électrique des câbles défectueux).

On peut appeler *résistance des dépôts électrolytiques* la résistance opposée au passage du courant soit par les dépôts salins, soit par les dépôts gazeux. Cette résistance très instable varie beaucoup avec le sens, l'intensité et la durée d'action du courant d'essai.

Résistance apparente. — Les divers courants étrangers qui circulent dans un câble attaché au circuit d'un pont de Wheatstone nécessitent pour l'équilibre de ce pont que l'on débouche dans la branche de comparaison des résistances tantôt supérieures, tantôt inférieures à celle que l'on aurait à deboucher si ces courants étrangers n'existaient pas. Ils agissaient donc suivant les cas comme s'ils produisaient soit une augmentation, soit une diminution de la résistance à mesurer, autrement dit, ils déterminent une sorte de *résistance apparente*, tantôt positive, tantôt négative, qui s'ajoute algébriquement aux résistances réelles, propre, et des dépôts électrolytiques.

La résistance apparente a une valeur d'autant plus grande que la force électromotrice de la pile d'essai est plus faible, en d'autres termes que le rapport $\frac{e}{E}$ des forces électromotrices du courant résultant des courants étrangers et du courant de la pile du pont a une valeur plus grande. C'est pour cette raison qu'il est préférable dans la généralité des cas d'employer pour les essais des piles assez énergiques.

En résumé :

Quand on fait une simple mesure de résistance sur un câble défectueux par le pont de Wheatstone, on obtient un résultat qui dépend, d'une part, des résistances des sections du conducteur entre le point défectueux et les extrémités du câble (ou seulement de l'une d'elles dans le cas d'une rupture complète) et, d'autre part, d'une quantité complexe que l'on nomme la *résistance du défaut* et qui est la somme algébrique des trois quantités :

1° La résistance propre du défaut;
2° d° des dépôts électrolytiques;
3° d° apparente due aux courants étrangers.

La méthode de Mance et les autres méthodes de correction analogues ont pour but de faire disparaître dans les résultats cette résistance apparente. Dans la méthode de Mance, par exemple, chacune des valeurs R_1, R_2 est bien affectée par la résistance apparente du défaut, mais si les observations ont été prises dans de bonnes conditions, la résistance calculée R est pratiquement débarrassée de la résistance apparente.

La résistance R n'est donc affectée que par la résistance propre du défaut, qui est une constante d'une valeur particulière pour chaque défaut et dont on ne peut s'affranchir, et par la résistance de dépôts électrolytiques qui est très variable et dont on peut jusqu'à un certain point se débarrasser.

Lorsque les essais pour localiser un défaut dans un câble peuvent être faits aussitôt que la rupture ou la perte s'est produite, c'est-à-dire avant que le cuivre ait été altéré par l'eau de mer et se soit recouvert de dépôts électrolytiques, les résultats obtenus seront seulement affectés par la résistance propre du défaut.

Ces essais doivent être faits en employant le courant négatif d'une pile moyennement énergique, d'une dizaine d'éléments, afin d'éviter de déposer de l'hydrogène sur le cuivre et, par suite, d'augmenter la résistance du défaut. Mais souvent, bien que ce soit préférable, les essais de localisation ne peuvent être effectués de suite et ne le sont que quelques jours après que le défaut s'est déclaré. On se trouve alors en présence d'un défaut présentant des dépôts salins.

Il faut alors commencer par s'assurer de l'impor-

tance du courant étranger par des mesures préliminaires d'intensité et de force électromotrice (constante du galvanomètre prise avec le courant étranger et comparée à celle obtenue avec un élément Callaud, par exemple ; comparaison des décharges à travers le galvanomètre d'un condensateur chargé d'abord avec l'élément étalon et ensuite avec le courant étranger).

Avec un peu de pratique et en comparant les résultats obtenus avec les résultats correspondants obtenus dans d'autres expériences, on peut arriver à se faire une idée approximative assez juste du défaut que présente le câble.

On peut alors appliquer la méthede de Mance en employant le courant négatif d'une dizaine d'éléments. Les observations répétées, sans supprimer le courant de la pile, donnent en général (lorsqu'il n'y a que le courant naturel du câble comme courant étranger) des résultats calculés qui décroissent régulièrement pour atteindre un minimum, puis qui croissent de nouveau. Ils atteignent assez rapidement une valeur limite $D_1 d_1$ à partir de laquelle on observe les oscillations du régime périodique (*fig.* 9). L'observation de la valeur minimum est très délicate, parce que l'on y arrive très rapidement après avoir envoyé le courant de la pile ; aussi la plupart du temps on la dépasse sans l'apercevoir et on opère sur un défaut recouvert de dépôts gazeux.

On peut alors passer aussi rapidement que possible, et sans laisser le câble se reposer, de la pile de 10 éléments à une pile de 20, par exemple, en employant le même sens de courant. Si le défaut est bien net, on verra la résistance calculée, R, diminuer de nouveau peu à peu et atteindre assez rapidement une nouvelle valeur constante inférieure à la précédente.

La résistance du défaut suit alors une courbe $D_2 E_2$

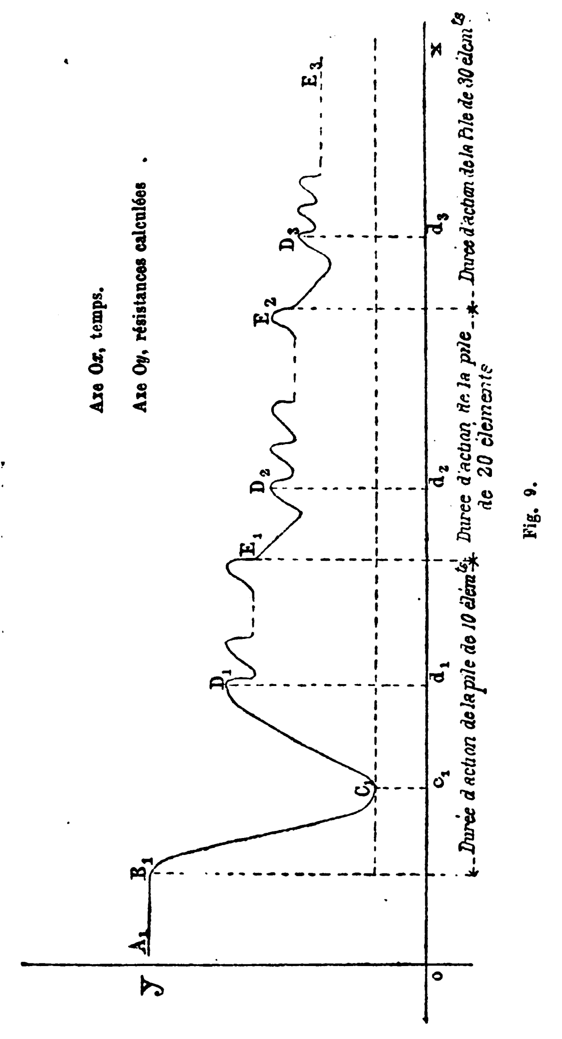


Fig. 9.

analogue à la précédente $D_1 E_1$; la valeur limite $D_2 E_2$ est plus petite que $D_1 E_1$; cela est probablement dû à

ce que le dégagement d'hydrogène étant plus énergique, l'épaisseur de la couche gazeuse déposée sur le cuivre doit être moindre.

En passant ensuite rapidement et sans laisser le câble se reposer à une pile de 30 éléments, on obtient une nouvelle diminution de R qui correspond à la valeur limite $D_3 d_3$ pour la résistance du défaut. En continuant de la même façon à augmenter progressivement et d'une façon régulière la force électromotrice de la pile d'essai, les valeurs limites de R diminuent de moins en moins et tendent de leur côté vers une certaine valeur correspondant au cas où la valeur de Dd atteindrait la résistance minimum $C_1 c_1$.

La variation des valeurs limite de R avec la force électromotrice de la pile du pont peut se représenter par une courbe MNP asymptote à une certaine parallèle à OX (*fig.* 10) à une distance de cet axe égale à la va-

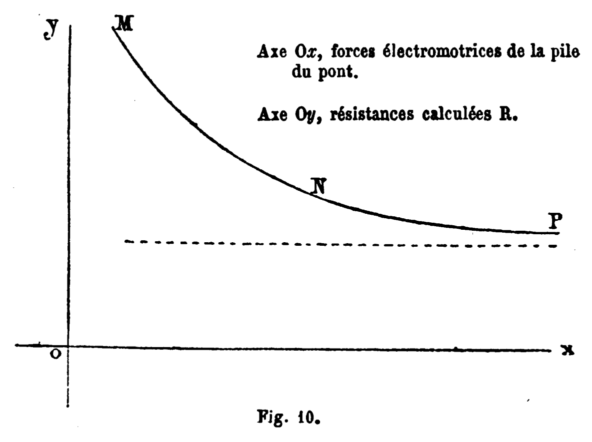


Fig. 10.

leur de R lorsque la résistance du défaut se réduit à sa résistance propre.

Le phénomène ne se passe de la façon qui vient d'être

décrite qu'à la condition que l'hydrogène puisse se dégager librement, ce qui arrive presque toujours dans le cas d'une rupture. En effet, lorsqu'un câble est violemment rompu ou lorsqu'il cède graduellement fil par fil sous l'action d'une forte tension, il arrive ordinairement que la gutta-percha et le cuivre sont considérablement étirés au point de rupture; la première se contracte de nouveau dans une certaine limite et les extrémités du conducteur restent exposées au contact de l'eau de mer des deux côtés de la cassure.

Lorsque l'armure étant usée par l'oxydation, le conducteur casse sous l'effet d'une petite tension, il arrive quelquefois que le conducteur casse dans l'intérieur de la gutta-percha sans que l'isolement soit compromis ; mais, en pareil cas, on a le plus souvent l'isolement plus ou moins imparfait pour l'un des côtés du câble rompu et une mise à la terre très nette pour l'autre.

Le côté qui présente un isolement imparfait et, par suite, qui donne comme résultat une très grande résistance, doit être expérimenté avec certaines précautions; il en est de même lorsqu'on a affaire à un câble présentant un faible défaut d'isolement dû, soit à un trou fait par un taret dans l'isolant, soit à une fuite dans une soudure d'âme, soit à tout autre cause. En pareil cas, on est averti que l'on est en présence d'une fissure très petite de l'isolant dès l'essai du câble avec la pile de 10 éléments. On obtient en effet des valeurs de R qui présentent de grandes différences entre elles, ce qui prouve que l'hydrogène a de la difficulté à se dégager. Dans ces circonstances, on ne doit pas essayer d'augmenter la force électromotrice de la pile du pont, car on obtiendrait des équilibres encore plus instables et subissant des variations

plus grandes. Il faut, au contraire, la diminuer autant que possible. On ne peut cependant guère descendre au-dessous de 3 à 4 éléments, car autrement les équilibres du pont seraient trop incertains. On peut, au besoin, envoyer à travers le câble de temps en temps des courants positifs peu intenses et de faible durée. Le dégagement d'oxygène sur le cuivre qui en résulte brûle l'hydrogène qui remplit la fissure et fait tomber la résistance du défaut. Un courant positif trop intense et de trop longue durée remplirait la fissure de dépôts salins très résistants et le défaut se présenterait de nouveau avec une très forte résistance. Ainsi dans les essais de câbles présentant des défauts légers, il est parfois utile d'employer le courant positif de la pile, mais il faut le faire avec beaucoup de prudence pour éviter une très grande instabilité des résultats.

Lorsque le défaut est très net, les résultats corrigés obtenus avec le courant positif sont à peu près les mêmes que ceux obtenus avec le courant négatif.

Ils sont cependant toujours un peu supérieurs et d'autant plus que l'on a employé plus longtemps le courant positif.

DÉTERMINATION D'UN DÉFAUT D'ISOLEMENT

1re *Méthode.* — En général, on détermine la position d'un défaut d'isolement par deux mesures faites à l'une des extrémités du câble. A la station A, on mesure :

1° La résistance R_t du conducteur, le câble étant mis à la terre par la station B;

2° La résistance R_i du conducteur, le câble étant isolé par la station B.

On fait entrer les résultats dans les formules :

$$(11) \qquad x = R_t - \sqrt{(R_i - R_t)(l - R_t)},$$

$$(12) \qquad z = R_i - x.$$

dans lesquelles

l représente la résistance électrique du câble en bon état.

x la résistance du conducteur entre l'extrémité A et le point défectueux.

z la résistance du défaut.

Ces formules supposent que le câble reste dans le même état durant les deux essais. Pratiquement il n'en est rien.

On peut remarquer d'abord que le câble se présente dans des conditions différentes pour les deux mesures. Quand on mesure R_i, le câble est à la terre, d'une part, au point défectueux et, d'autre part, à l'extrémité A, par les appareils de mesure et le courant naturel le parcourt suivant le circuit FAMT (*fig.* 11). Quand on

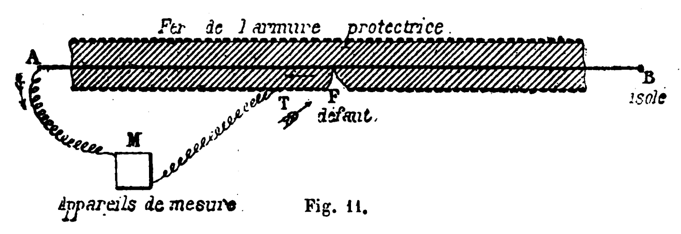


Fig. 11.

mesure R_t, il est à la terre au point défectueux et aux deux extrémités A, B, le courant naturel a deux circuits à suivre : FAMT, FBT' (*fig.* 12).

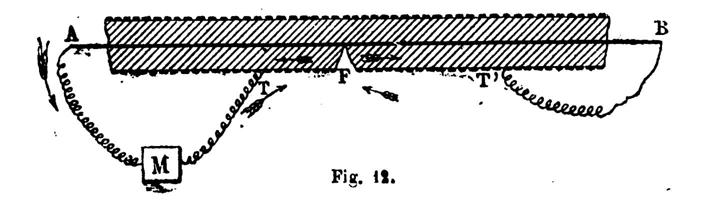


Fig. 12.

En admettant que sa force électromotrice soit la même que lorsque le câble est isolé en B, comme la résistance des circuits est différente, l'intensité du courant naturel est différente dans les deux mesures. Les courants de polarisation dus à l'action de la pile d'essai sont aussi différents. Comme on l'a vu, les résultats R_t, R_i, obtenus par la méthode de correction de Mance, sont corrigés de la résistance apparente du défaut, et, par suite, ne sont pas affectés par les différences des courants étrangers que nous venons de signaler ; mais ils ne sont pas débarrassés de la résistance des dépôts électrolytiques qui est très variable et n'est probablement pas la même dans les deux mesures.

Cependant, si les deux mesures R_t, R_i sont faites à des époques aussi rapprochées que possible, et dans des conditions comparables, pour lesquelles le défaut subit peu d'altération, l'on peut admettre pratiquement qu'il est resté dans le même état et, par suite, appliquer les formules (11) et (12). L'expérience prouve presque toujours que l'on obtient la valeur x avec une approximation bien suffisante.

Voici les meilleures conditions pour faire ces essais :

La station B, si le câble peut encore fonctionner, ou par tout autre moyen, reçoit des instructions de la station A. Elle doit, à partir d'une heure déterminée, successivement isoler et mettre le câble à la terre à des intervalles de temps égaux d'une durée plus ou moins longue, suivant chaque expérimentateur ; par exemple, elle mettra le câble à la terre durant le premier quart d'heure ;

Elle l'isolera durant le deuxième quart d'heure ;

Elle le mettra à la terre durant le troisième quart d'heure ;

Etc.

A la station A, en employant le courant négatif d'une pile de 10 à 15 éléments, on établit le réglage du pont R_1 que l'on maintient durant toute la durée de la première période, en notant avec soin ses variations. Quand on le voit bien stable, on prend un réglage instantané R_2 ; il est bon d'en prendre trois, un au commencement de la période, un second vers le milieu, un troisième environ deux minutes avant la fin. On peut calculer ainsi 3 valeurs de R_t pour la première période. Lorsque la station B isole le câble, la station A en est prévenue, parce que subitement la résistance débouchée dans la branche de comparaison devient insuffisante. On établit le nouveau réglage R_1 et l'on opère de la même façon que pour la première période.

On obtient ainsi les éléments pour calculer trois valeurs de R_i, pour la deuxième période.

On s'aperçoit du commencement de la troisième période au moment où l'équilibre du pont est de nouveau rompu. Après avoir pris les deux réglages qui permettent de calculer la nouvelle valeur de R_t, on peut passer à une pile d'une force électromotrice supérieure, mais le plus rapidement possible, de façon à ne pas modifier sensiblement l'état du défaut par la suppression momentanée du courant.

On peut observer durant la fin de la troisième période, la quatrième et le commencement de la cinquième avec cette nouvelle pile, puis on passera à une pile plus forte, etc., cela permettra de suivre les variations de R_t et de R_i, et, par suite, de corriger autant que possible les résultats de la résistance des dépôts électrolytiques.

Les résultats peuvent être inscrits dans un tableau du modèle ci-dessous :

ÉTAT du câble à l'extrémité B	PILE DU PONT		Heure.	P_1	R_1	P_2	R_2	R calculé avec la formule (10).	X calculé avec la formule (11).	Z calculé avec la formule (12).	OBSERVATIONS.
	Nombre d'éléments.	Résistance intérieure.									
1re période à la terre R_t											
2e période isolé R_i											

Les meilleurs résultats à faire entrer dans le calcul de x et de z sont ceux de la fin d'une période et du commencement de la période suivante, pris avec la même pile du pont.

Parmi les valeurs de x ainsi calculées, celles qui offrent le plus de confiance sont celles qui sont calculées avec le R_t de la fin d'une période et le R_i du commencement de la suivante, parce que le défaut est moins altéré par la pile d'essai en passant de la période de mise à la terre à la période d'isolement que par le passage inverse.

2e *Méthode.* — Lorsque deux électriciens peuvent faire simultanément des essais aux deux extrémités du câble défectueux et mesurer, celui qui est en A, les deux données A_t, A_i, et celui qui est en B, les deux données correspondantes B_t, B_i, la distance du défaut à l'extrémité A est donnée, outre la relation précédente, par l'une des deux formules :

$$x = \frac{l + A_i - B_i}{2}, \tag{13}$$

$$x = \frac{A_t(l - B_t)}{A_t - B_t}\left[1 - \sqrt{\frac{B_t(l - A_t)}{A_t(l - B_t)}}\right]. \tag{14}$$

Mais, le plus souvent, les essais en A et en B ne peuvent pas être faits simultanément, ils sont faits à des dates aussi rapprochées que possible par le même électricien qui doit se transporter le plus rapidement possible du point A au point B.

On admet, ce qui est en général d'une approximation suffisante, que le défaut n'a pas subi d'altération grave entre les deux séries d'essais, ou mieux, on arrive avec un peu d'habitude à saisir le moment où par suite de l'action du courant négatif de la pile, il se trouve dans le même état au point de vue des dépôts électrolytiques. Sauf certains cas particuliers, on peut donc, en toute confiance, appliquer à des essais successifs les formules (13) et (14).

Il est évident que les essais faits en A et en B, soit simultanément, soit successivement, doivent être faits dans les mêmes conditions pour que la résistance des dépôts électrolytiques salins et gazeux (surtout ces derniers) affecte de la même façon les diverses données A_t, A_i, B_t, B_i.

Il est donc nécessaire :

Si les essais sont faits simultanément, que les deux piles d'essai soient semblables comme force électromotrice et comme résistance intérieure. Un même nombre d'éléments de même type montés dans des conditions aussi identiques que possible rempliront à peu près ces conditions. S'ils sont faits consécutivement, il est nécessaire que ce soient les mêmes piles qui servent pour les deux séries d'essais, pourvu que ces piles n'aient pas subi de profondes altérations dans l'intervalle.

Mais cela n'est pas encore suffisant :

Si la résistance x, qui sépare le défaut de l'extrémité

A, a une valeur assez différente de la résistance y qui sépare le défaut de l'extrémité B, des piles de même force électromotrice et de même résistance intérieure ne donneront pas un courant de même intensité pour les essais en A que pour les essais en B. Par suite, lorsque le défaut est placé dissymétriquement sur le câble, les dépôts électrolytiques sont différents dans les deux séries d'essais ; il peut en résulter parfois une erreur assez grande lorsque ces défauts sont très résistants et subissent de fortes variations.

Il est donc bon, si l'on veut avoir des essais simultanés ou successifs concordants, que le défaut soit vers le milieu de la ligne ; on se place dans ces conditions en ajoutant à l'extrémité qui en est la plus rapprochée une résistance convenable dont la valeur est donnée par des essais préliminaires.

DÉTERMINATION D'UNE RUPTURE.

Dans le cas d'une rupture complète du câble, les deux sections de conducteur comprises entre le point de rupture et les deux extrémités sont complètement indépendantes au point de vue électrique. Aussi, dans

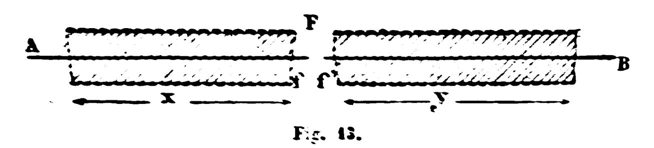


Fig. 13.

ce cas, les essais peuvent se borner soit à la mesure de la résistance A de la section du conducteur comprise entre le défaut et l'extrémité A du câble, soit à la mesure de la résistance B de l'autre section du conducteur comprise entre l'extrémité B et le défaut.

Il est cependant préférable d'effectuer cette mesure aux deux extrémités, afin d'avoir plus d'éléments à faire entrer en jeu dans les hypothèses que l'on doit faire au sujet des résistances de chacun des côtés de la rupture (*fig.* 13).

La résistance mesurée A est la somme de la résistance x du conducteur entre l'extrémité A et le point F et de la résistance f du défaut :

$$A = x + f.$$

D'autre part, la résistance mesurée B est la somme de la résistance y du conducteur entre le point B et le point F et de la résistance f' du défaut

$$B = y + f'.$$

La quantité A est la valeur vers laquelle tendent les résistances calculées R, obtenues en A avec des piles de forces électromotrices graduellement croissantes. Il en résulte que, dans la formule $A = x + f$, on doit considérer la quantité inconnue f comme la résistance propre de la rupture du côté de A.

De même, la quantité B étant la limite des résistances calculées R, obtenues en B de la même manière, on doit, dans la formule $B = y + f'$, considérer la quantité inconnue f' comme la résistance propre de la rupture du côté de B. La résistance totale du conducteur du câble, lorsqu'il était en bon état, étant représentée par l on a :

$$A + B = x + y + f + f' = l + f + f',$$

d'où l'on déduit :

$$A + B - l = f + f'. \tag{15}$$

C'est la seule équation qui peut servir pour la détermination de f et de f', ce qui est insuffisant.

Mais la façon dont les deux côtés de la rupture se sont comportés sous l'action des piles de forces électromotrices graduellement croissantes lors des essais en A et en B permet de faire des hypothèses assez exactes pour fixer avec l'équation (15) les valeurs respectives que l'on doit attribuer aux résistances inconnues f et f'.

En général, on sera conduit à attribuer de 1 à 10 ohms de résistance à un défaut très net avec lequel on peut, à peu près indifféremment, employer le courant positif et le courant négatif de la pile d'essai.

Si le défaut est moins net et si dans l'ensemble des essais avec le courant négatif on remarque une tendance à la polarisation, il faut lui attribuer une valeur comprise entre 10 et 20 ohms.

Un défaut qui se polarise assez nettement avec une pile d'une dizaine d'éléments Leclanché, pour qu'il soit inutile de poursuivre les essais avec une pile un peu plus énergique à cause de l'instabilité des réglages, offre une résistance d'une trentaine d'ohms environ.

Au delà, les hypothèses deviennent de plus en plus aléatoires et alors les défauts sont très difficiles à localiser d'une façon précise. Mais, comme nous l'avons vu plus haut, l'expérience prouve qu'il y a toujours un des deux côtés de la rupture qui présente une large surface de cuivre dénudé. Si donc l'autre côté est isolé ou à peu près, il y a heureusement toujours une des séries d'expérieuces, soit en A soit en B, qui permet de fixer d'une façon pour ainsi dire exacte la position du défaut.

Enfin, il ne faut pas oublier dans ce genre d'appréciation des résistances f et f' que les expériences en A et B, pour être comparables, doivent être faites dans

les mêmes conditions, c'est-à-dire avec des piles aussi identiques que possible et en reportant le défaut vers le milieu du câble au moyen de résistances convenables placées en avant de l'extrémité la plus rapprochée.

Autres applications de la méthode de Mance.

I. — La méthode de correction de Mance donne de très bons résultats et toujours concordants quand on l'emploie pour mesurer la résistance du conducteur d'un câble sous-marin en bon état ou d'un conducteur quelconque parcouru par des courants terrestres. Dans ce cas, il faut opérer avec une pile d'une dizaine d'éléments Callaud en employant indifféremment le courant positif ou le courant négatif. Les résultats corrigés obtenus ainsi sont les mêmes si la mesure a été faite dans de bonnes conditions.

II. — Elle est surtout très utile pour suivre pas à pas l'état d'un câble qui présente un léger défaut d'isolement insuffisant pour empêcher la communication entre les deux extrémités. En soumettant un pareil câble à des essais réguliers faits toujours dans les mêmes conditions par cette méthode, on peut se rendre compte, d'une façon très sûre, des variations que subit son état et ainsi savoir s'il s'aggrave ou s'il reste le même.

Armand Deries.

NOUVEAU SYSTÈME

DE

TRANSMISSION POUR TÉLÉPHONES ET TÉLÉGRAPHES

DE

MM. LOUIS MAICHE & DONATO TOMMASI

Chacun sait que dans l'établissement des lignes ou des réseaux téléphoniques ou télégraphiques, les conducteurs et leurs accessoires constituent la plus forte dépense et que, pour les téléphones surtout, plus les postes à relier sont éloignés du poste central, plus il est à craindre que cette dépense n'oblige à porter le prix de l'abonnement à un chiffre inacceptable; on sait aussi que, d'autre part, la mutiplicité des lignes crée aux compagnies de sérieuses entraves à l'extension des réseaux, tant lorsque l'installation des fils est aérienne que si elle est souterraine.

Il y aurait donc immense avantage si l'on parvenait à réduire le nombre des fils, c'est-à-dire si l'on pouvait desservir un certain nombre de postes avec une seule ligne. On comprend que, outre l'économie réalisée sur les conducteurs et leurs supports, on obtiendrait une très sérieuse réduction de l'encombrement qui résulte de la multiplicité actuelle des lignes, laquelle atteint presque partout la limite d'emplacement disponible, et

que l'on pourrait, sans dépasser cette limite, desservir un nombre beaucoup plus considérable de postes. De là résulterait une économie très sensible et, par suite, un notable abaissement du prix de l'abonnement, c'est-à-dire le meilleur argument que l'on puisse employer pour provoquer l'extension des correspondances électriques dans les relations commerciales et privées.

En attendant que nous puissions donner une description complète et le diagramme d'une installation téléphonique de notre système, nous nous bornerons à mettre sous les yeux du lecteur l'appareil servant à l'application du principe qui constitue l'invention.

Ce principe consiste à employer, du poste central, des courants de potentiels croissants, suivant la position du poste que l'on veut appeler sur la ligne qui les relie tous, et à disposer dans ces postes des paires de résistances réglées de telle sorte que la seconde de chaque poste soit égale à la première du poste suivant.

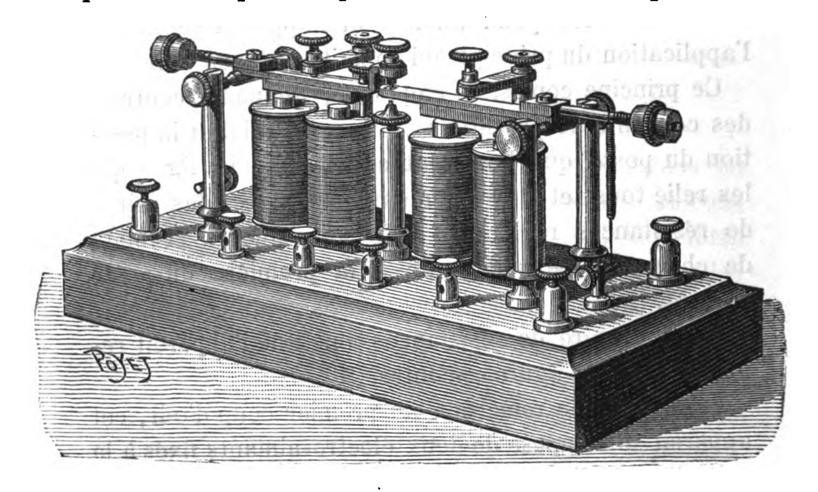
Chaque paire de résistances constitue l'appareil représenté par la figure ci-contre.

Ainsi qu'on le remarque au premier coup d'œil, cet appareil se compose de deux électro-aimants fixés à la suite l'un de l'autre sur un socle. A chaque extrémité de l'appareil se trouvent deux petites colonnes supportant l'axe de l'armature de l'électro-aimant correspondant. La résistance de chaque armature à l'action de son électro-aimant est constituée par un petit ressort à boudin accroché au levier extérieur de l'armature et par un contre-poids mobile sur la partie filetée de ce levier.

L'amplitude des oscillations des armatures est limitée, pour l'électro-aimant qui constitue la première

résistance du poste (celui de gauche dans notre dessin), d'abord par une vis de position placée au-dessus et au milieu de la monture du barreau de fer doux ou armature, puis par une vis d'arrêt placée vers l'extrémité de cette monture et qui vient porter sur la seconde bobine; pour l'électro-aimant qui constitue la seconde (celui de droite) la première de ces vis existe seule.

Le contact entre les deux armatures peut s'effectuer par une vis spéciale qui traverse l'extrémité repliée de



la monture de celle de la première résistance.

A l'aplomb de cette vis se trouve un autre contact sur lequel peut s'appuyer la monture de l'armature du second électro-aimant; dans ce cas, les deux armatures cessent d'être en contact, grâce à la vis d'arrêt de la première.

Tous ces organes, parfaitement visibles sur le dessin, sont susceptibles d'être réglés avec la plus grande précision, tant pour la résistance que doivent opposer

les armatures que pour l'amplitude de leurs oscillations.

Les quatre grandes bornes que l'on voit aux angles du socle servent à placer les appareils soit en circuit, soit en dérivation. Les petites bornes reçoivent les fils de la pile locale et de l'appareil téléphonique ou télégraphique.

Lorsque les appareils doivent être placés en circuit, tous les électro-aimants ont la même résistance propre ; il n'en est plus ainsi quand ils sont montés en dérivation. La résistance des armatures à l'action des électro-aimants est réglée de telle sorte que chacune d'elle ne peut être attirée que si un électro-aimant est traversé par un courant d'un potentiel déterminé, et, en outre, la disposition de l'appareil est telle que si la première armature (gauche) seulement est attirée, la communication s'établit entre le poste appelé et le bureau d'appel, tandis que, au contraire, si les deux armatures de l'appareil sont attirées en même temps, leurs efforts se neutralisent, au point de vue des contacts, c'est-à-dire mécaniquement, et le courant passe aux postes suivants. Ces différences dans la circulation résultent de ce que, lorsque la première armature s'abaisse seule, la vis qui la termine s'appuie sur la seconde armature, et de ce que celle-ci s'éloigne de cette vis aussitôt qu'elle-même est attirée, pour venir en contact avec la vis de la petite colonne centrale.

Supposons, par exemple, que les résistances des armatures des postes I, II, III... d'une ligne aient été réglées pour des courants de 1 et 2, 2 et 4, 4 et 6... daniells, respectivement.

Si on lance dans la ligne un courant de deux daniells, ce courant surmontera les résistances des ar-

matures des deux électro-aimants du poste I, et la résistance de l'armature du premier électro-aimant du poste II; le poste I ne sera pas appelé, tandis que le poste II sera mis en communication avec le bureau d'appel; en même temps, l'apparition d'un signal prévient tous les autres postes que la ligne est occupée.

Le nouveau système s'applique non seulement aux téléphones et aux télégraphes, mais encore à tous les genres de communications électriques tels que signaux de chemin de fer, de défense des places et des côtes, lignes de torpille, etc., etc.

CHRONIQUE.

La mort par l'électricité dans l'industrie. — Ses mécanismes physiologiques. — Moyens d'y remédier.

Note de M. A. d'Arsonval présentée par M. Brown-Séquard.

Dans de précédentes communications (*), j'ai indiqué les causes physiques des dangers présentés par les machines dynamo-électriques. Je n'avais alors à ma disposition que de petites machines de laboratoire.

Grâce à l'obligeance de M. le professeur Mascart et de M. Hippolyte Fontaine, j'ai pu récemment me placer au point de vue pratique et poursuivre mes expériences au Collège de France avec des dynamos industrielles à courant continu et à courants alternatifs.

J'ai mis à profit ces circonstances pour faire une étude comparative des dangers présentés par les différentes sources d'électricité. Mes essais ont successivement porté sur les effets physiologiques :

1° D'une machine statique (Holtz à 4 disques) chargeant une batterie;

2° D'une pile de 420 volts;

3° De machines Gramme à courant continu;

4° De machines Gramme alternatives;

5° Des bobines d'extra-courant ou d'induction associées ou non à des condensateurs statiques.

Pour compléter cette série, j'aurais dû étudier les effets des transformateurs, qui tendent à entrer dans la pratique et dont les effets sont autrement redoutables que ceux des ma-

(*) Voir *Comptes rendus* des 26 janvier et 9 mars 1885, et aussi *Société de biologie*, 20 décembre 1884.

chines précédentes; mais cette lacune sera bientôt comblée, grâce à l'obligeance de M. Picou, ingénieur en chef des ateliers Edison.

A l'aide de toutes les sources d'électricité énumérées ci-dessus, on peut amener la mort en se plaçant dans des conditions déterminées. Cette mort s'accompagne de phénomènes et de lésions excessivement variables, suivant le mode opératoire. Dans cette note, je me mettrai exclusivement au point de vue de l'hygiène publique et je me bornerai simplement à faire connaître les conclusions pratiques découlant de mes expériences.

J'ai reconnu que les effets si variés de l'électricité sur les êtres vivants peuvent se diviser en deux catégories principales qui les embrassent tous. L'électricité entraîne la mort des deux façons suivantes :

1° *Par action directe* (effets disruptifs de la décharge agissant mécaniquement pour altérer les tissus);

2° *Par action réflexe* ou *indirecte* (en agissant sur les centres nerveux dont l'irritation entraîne l'infinie variété d'effets si bien étudiés par mon maître, M. Brown-Séquard, sous les noms d'inhibition et de dynamogénie).

Cette distinction simple, qui résulte de l'observation minutieuse des faits, a également une valeur pratique en ce sens que, dans le premier cas, la mort est fatale et définitive, tandis que, dans le second, l'expérimentation m'a démontré qu'on peut le plus souvent ramener l'individu à la vie en pratiquant la respiration artificielle immédiatement après l'accident.

Bien que je ne puisse m'étendre ici sur ce sujet, j'indiquerai en quelques mots les dangers présentés par les différentes sources électriques :

1° La décharge statique n'est fatalement mortelle qu'en frappant directement le bulbe avec des décharges bien localisées dont l'énergie correspondait dans mes expériences à 3^{kgm} environ. Dans ces conditions, les différents tissus (nerf, sang, muscles, etc.), frappés isolément par la décharge, perdent immédiatement leurs propriétés physiologiques.

Si la décharge n'a pas l'énergie voulue pour altérer mécaniquement le bulbe, elle agit en l'excitant et produit les phéno-

mènes d'inhibition respiratoire, d'inhibition du cœur, d'ecchymoses sous-pleurales, d'emphysème pulmonaire, de paralysies, d'arrêt des échanges, etc..., que M. Brown-Séquard a obtenus en irritant directement la région bulbaire par les excitants les plus divers. Contrairement à ce qu'on croit généralement, il est très difficile de foudroyer un animal. Ces effets secondaires ne sont donc pas le fait de l'électricité elle-même.

2° Avec la pile de 420 volts, on n'amène la mort que par des interruptions fréquentes et longtemps prolongées du courant. Cette mort est due à l'état tétanique provoqué par le courant, plutôt qu'à l'action directe de l'électricité. Prochainement je signalerai les effets que donne une pile de 2.000 à 2.500 volts.

3° La machine Gramme à courant continu n'est dangereuse, ainsi que je l'ai signalé dans ma précédente note, que par son extra-courant de rupture. J'ai pu constater que les machines compound, ou à double enroulement, ont des effets foudroyants moindres que les machines excitées en série ou séries-dynamo.

L'extra-courant d'une série-dynamo donnant 20 ampères et 45 volts foudroyait un cobaye, tandis que l'extra-courant d'une compound donnant 25 ampères et 110 volts ne produisait aucun effet nuisible. Cette différence s'explique en considérant que le second enroulement sert de fil de dérivation. J'arrive à supprimer cet extra-courant en rompant le circuit graduellement à l'aide d'un simple robinet en grès, contenant du mercure qui sert de coupe-circuit.

4° Une machine Gramme alternative n'entraîne la mort qu'au-dessus de 120 volts de différence moyenne de potentiel.

5° Une bobine d'extra-courant est plus dangereuse qu'une bobine d'induction, surtout si elle est associée à un condensateur.

Le danger d'une décharge isolée est défini uniquement par la courbe électrique de cette décharge. La notion de la différence de potentiel et de l'intensité moyenne ne suffit pas : on doit faire intervenir pour la plus grande part la notion de la durée de cette décharge. Pour l'analyse des effets physiologiques de l'électricité, j'ai imaginé depuis longtemps un appareil qui enregistre automatiquement cette courbe électrique de l'excitation, courbe dont on peut faire varier isolément et

à volonté tous les paramètres. On arrive ainsi à dissocier facilement les effets de l'excitant électrique; j'y reviendrai prochainement.

Il en est de même pour les courants alternatifs, pour lesquels il faut de plus tenir compte de la fréquence des renversements. Ne pouvant insister ici, je me borne à dire que, dans les conditions réalisées ordinairement dans l'industrie, le courant tue par action réflexe. Aussi ai-je pu, dans la majorité des cas, ramener à la vie les animaux foudroyés en pratiquant sur eux la respiration artificielle.

La conclusion pratique de cette note est qu'il faut, dans une usine électrique, pouvoir pratiquer immédiatement la respiration artificielle sur tout individu foudroyé : on a ainsi de grandes chances de le rappeler à la vie.

Les courants employés jusqu'ici dans l'industrie tuent le plus souvent par arrêt respiratoire. La respiration artificielle, en empêchant l'asphyxie, permet à la respiration naturelle de se rétablir.

M. **Brown-Séquard**, à propos de la communication de M. d'Arsonval, présente les remarques suivantes sur le traitement de la perte de respiration.

« M. d'Arsonval aurait pu dire que, depuis plusieurs années déjà, nous employons, au Collège de France, un mode d'excitation ayant une très grande puissance pour faire revenir la respiration arrêtée par inhibition. Ce procédé est bien supérieur à la cautérisation transcurrente, employée par Faure et d'autres expérimentateurs. Il consiste tout simplement dans l'application d'un courant faradique au côté du larynx sur la peau humide ou superficiellement incisée.

On sait que, dans les laboratoires, on donne avec un certain succès des chocs galvaniques sur un point quelconque, pour rétablir la respiration chez des animaux ayant eu une cessation de cette fonction par influence du chloroforme ou dans d'autres cas. Nous avons trouvé, dans des expériences comparatives qui ne peuvent laisser aucun doute, que de toutes les parties du corps celle qui, étant galvanisée, a le plus de puissance pour faire revenir la respiration, est celle que nous avons désignée. Il y a une raison très naturelle pour qu'il en soit ainsi : par la faradisation de cette partie, on irrite légère-

ment les nerfs vagues, ce qui, comme le savent tous les physiologistes, est une cause de respiration et même quelquefois d'augmentation notable de l'énergie respiratoire. »

(*Comptes rendus*, 4 avril 1887.)

Tremblement de terre du 23 février, enregistré à l'Observatoire de Perpignan.

Note de M. Fines.

Les secousses du tremblement de terre qui vient de sévir sur nos côtes orientales de la Méditerranée, au commencement de la journée du 23 février, ont été à peine perçues par un petit nombre de personnes à Perpignan; néanmoins les ondulations ont été enregistrées à l'observatoire par le sismographe, et les appareils magnétiques ont été fortement troublés.

La plus forte secousse a été seule appréciable en Roussillon. Le tracé des oscillations a été obtenu avec le sismographe du P. Cecchi. On y voit l'axe des oscillations horizontales nettement dirigé de O. 1/4 S.-O. à E. 1/4 N.-E. et l'on distingue les mouvements du sol qui, après s'être porté de droite à gauche et de gauche à droite, semble avoir tournoyé sur lui-même. Le pendule qui a tracé ces mouvements a $1^m,86$ de longueur; l'amplitude maximum a été de $1°8'$.

Malheureusement nous n'avons pu inscrire les oscillations verticales, qui existaient cependant.

Les trois courbes du magnétographe montrent que la balance magnétique et surtout les appareils de variations pour la composante horizontale et la déclinaison ont été mis brusquement en oscillation à $5^h 47^m$.

A 6 heures du matin, M. Arabeyré a vu les barreaux des instruments magnétiques à lecture directe *sauter* verticalement sans se déplacer horizontalement.

M. Cœurdevache faisait, quelque temps après, des mesures absolues de la composante horizontale. A $7^h 46^m$, il commençait la première série pour déterminer la durée de cent oscil-

lations du barreau aimanté et il la terminait à $7^h 54^m$; l'intervalle de chaque vingt oscillations n'a pas varié de plus d'un dixième de seconde. Il n'y avait pas en ce moment la moindre irrégularité. Après avoir commencé la seconde série à $8^h 14^m 36^s$, il a dû s'arrêter à la quarantième oscillation ($8^h 17^m 44^s$), parce que les *saccades verticales* du barreau ne lui ont plus permis de distinguer le moment du passage du repère sur le réticule. Ce serait donc l'instant du début d'une nouvelle secousse légère, appréciable à la boussole, mais qu'on ne peut reconnaître sur le tracé sismographique, si elle a été enregistrée. M. Cœurdevache descendit immédiatement dans les caves consulter les instruments magnétiques à lecture directe et les enregistreurs. Tous sautillaient, sauf la balance, qui était fixe en ce moment et ne l'était pas à 6 heures du matin.

Remarque de M. Mascart au sujet de cette communication.

L'agitation des instruments magnétiques pendant le tremblement de terre du 23 février mérite une attention particulière, parce qu'elle a mis en évidence un fait important.

M. Moureaux, qui dirige ce service avec tant d'habileté à l'observatoire du parc de Saint-Maur, m'a remis également la note suivante :

« Le tremblement de terre du 23 février s'est manifesté par une brusque agitation des appareils de variations.

« Les courbes relevées à l'enregistreur magnétique portent une trace très nette du phénomène qui s'est produit à $5^h 45^m$ du matin (temps moyen de Paris).

« Le déclinomètre, le bifilaire et la balance ont été affectés au même degré. L'oscillation paraît avoir duré plusieurs minutes; son amplitude totale au début a été d'environ 7′. »

D'autre part, l'enregistreur magnétique de l'observatoire de Lyon indique les mêmes perturbations débutant à $5^h 55^m$, d'après M. André. Enfin, aucune trace de perturbation n'est sensible sur les courbes du magnétographe de Nantes.

Une première circonstance remarquable est la simultanéité des effets observés, puisque les heures de Perpignan et de Lyon sont respectivement en avance de 2 minutes et de 10 minutes sur l'heure de Paris.

Il ne semble donc pas que l'effet observé soit un mouvement propagé par le sol, comme notre confrère Fouqué (*) avait cru pouvoir le conclure des perturbations observées à Greenwich et à Wilhelmshaven pendant le tremblement de terre du 25 décembre 1884. (*Comptes rendus*, t. C, p. 1051 et 1436.)

En second lieu, le mouvement des barreaux ne présente aucune analogie avec ceux qui correspondent aux perturbations magnétiques ordinaires; il ressemble beaucoup, au contraire, aux vibrations que l'on obtient par l'action des courants momentanés que l'on utilise pour produire les repères de l'heure, avec cette différence que les oscillations paraissent avoir été entretenues pendant plusieurs minutes. Les appareils magnétiques auraient donc enregistré, non pas les mouvements du sol, mais plutôt le passage de courants électriques produits dans le sol à une certaine période du tremblement de terre, et l'on s'expliquerait aisément que l'action ne fût pas appréciable dans l'ouest de la France.

Cette manière de voir est confirmée par les soubresauts et les saccades verticales que MM. Cœurdevache et Arabeyré ont eu la bonne fortune de constater plus tard. Une secousse du sol peut donner à des barreaux aimantés, suspendus par un fil, un mouvement pendulaire qui ne se traduirait pas sur les enregistreurs, mais on ne conçoit pas facilement qu'elle soit capable de leur imprimer une oscillation autour d'un axe vertical.

M. **Daubrée** signale un télégramme annonçant que le sismoscope de l'observatoire du gouvernement, à Washington, a éprouvé, mercredi 23 février, une perturbation consistant en chocs répétés. Eu égard à la différénce de longitude, il en résulterait une vitesse moyenne de transmission de 500 milles ou 800 kilomètres par heure, soit 220 mètres par seconde.

(*Comptes rendus*, 28 février 1887.)

(*) M. Fouqué a eu l'obligeance de m'informer que, dans un Mémoire en cours de publication et destiné au *Recueil des savants étrangers*, il arrive à une conclusion différente.

Sur les effets magnétiques des tremblements de terre.

Note de M. Mascart.

J'ai dit, dans la dernière séance, que les effets observés aux enregistreurs magnétiques de Paris, Lyon et Perpignan ne s'étaient pas fait sentir dans l'ouest de la France. Un examen plus attentif des courbes de l'observatoire de Nantes, que M. Larocque a eu l'obligeance de m'envoyer, montre, au contraire, que les mêmes oscillations s'y sont produites, quoique beaucoup plus faibles. Toutefois, l'appareil n'est pas encore muni d'un indicateur électrique du temps, de sorte que nous ne pouvons pas préciser l'heure avec une exactitude suffisante. Le même effet a été constaté à l'observatoire de Bruxelles, par M. Lancaster.

D'autre part, M. Moureaux a reconnu que la courbe de l'enregistreur du parc Saint-Maur, relative au 25 décembre 1884, porte les traces manifestes d'une oscillation analogue à celle du 23 février. Cette oscillation, qui correspond au tremblement de terre de l'Andalousie, s'est produite vers $9^h 24^m$, avec une erreur possible de plusieurs minutes, parce que les contacts électriques du temps n'étaient pas encore installés.

Le phénomène paraît ainsi plus général, et nous espérons, par une enquête étendue auprès des observatoires étrangers, qu'il sera possible d'en préciser davantage les conditions.

(*Comptes rendus*, 7 mars 1887.)

Effets des tremblements de terre sur les appareils magnétiques.

Par M. Mascart.

En communiquant à l'Académie les perturbations accusées par les enregistreurs magnétiques au moment du tremblement de terre du 23 février, je signalais la simultanéité imprévue des oscillations produites dans les observatoires de Perpignan, Lyon, parc Saint-Maur (auxquels je puis ajouter Tou-

louse), et j'exprimais l'idée qu'il serait sans doute possible de mieux préciser les conditions du phénomène par une enquête auprès des observatoires étrangers.

La question est moins simple qu'elle ne paraissait d'abord et quelques renseignements me manquent encore; mais je dois y revenir dès maintenant pour discuter les conditions physiques des appareils employés à l'enregistrement.

Je ferai d'abord une remarque sur l'heure indiquée par les observateurs eux-mêmes. A Utrecht, d'après M. Snellen, directeur de l'institut météorologique, le phénomène a débuté à $5^h\,45^m$ (temps moyen de Paris), et non $5^h\,48^m$.

Pour une série d'observatoires voisins, le retard, par rapport aux stations françaises, serait donc, pour Greenwich et Kew, $+\,2^m$; Bruxelles, $+\,4^m$; Utrecht, 0; Wilhelmshaven, $+\,6^m$. D'autre part, le début des perturbations à Vienne paraît avoir eu lieu 3 minutes plus tôt pour le déclinomètre que pour le barreau à suspension bifilaire qui donne les variations de la composante horizontale. Comme la plupart des observateurs n'estiment pas à moins d'une minute l'erreur possible d'appréciation du temps sur les courbes photographiques, on jugera sans doute qu'il est un peu prématuré de déduire de ces observations discordantes une vitesse quelconque de propagation.

Il est donc nécessaire d'examiner de plus près la nature des effets produits. Toutes les observations montrent que les barreaux aimantés ont reçu plusieurs impulsions successives; or, le résultat final de ces impulsions peut être très différent suivant les relations qui existent entre la période des oscillations propres des instruments, leur mode d'amortissement et les intervalles de temps qui séparent les impulsions successives.

Si la période d'oscillation des barreaux était très courte et l'amortissement très rapide, chacune des impulsions se traduirait d'une manière indépendante, sans être troublée par le résidu des oscillations antérieures.

Au contraire, si l'amortissement est lent ou si la période d'oscillation est de même ordre que les intervalles d'impulsions, l'amplitude maximum des déviations devient un résultat très complexe, variable avec les appareils, qui peut n'avoir

aucune relation simple avec l'époque et la grandeur du maximum d'impulsion. Enfin, le début même du phénomène peut être voilé si deux impulsions de sens contraire se succèdent avant que le barreau se soit déplacé d'une quantité notable.

Que la cause soit mécanique ou électrique, il n'y a aucune raison pour qu'elle ait des composantes de même ordre de grandeur pour les trois instruments de variations. En fût-il ainsi d'ailleurs, les remarques précédentes permettent de comprendre comment il est possible que ces trois composantes ne se traduisent pas dans un même observatoire ou dans des observatoires voisins, par des déviations de même ordre, comment le déclinomètre de Kew a pu rester à peu près immobile, tandis que celui de Greenwich a indiqué une variation de 20′ d'arc, comment enfin à l'observatoire de Vienne, le barreau du bifilaire a pu se mettre en mouvement plusieurs minutes après le déclinomètre. Les appareils sont, en effet, de dimensions très différentes. Tandis que le déclinomètre de Kew est formé par un barreau relativement court, probablement de 10 ou 15 centimètres, le barreau de Greenwich a 2 pieds de longueur et met 24 secondes pour faire une oscillation simple.

Dans les stations françaises que j'ai citées, les enregistreurs sont tous du même type; les barreaux du déclinomètre et du bifilaire ont 5 centimètres de longueur; ils oscillent et s'amortissent très rapidement. Si l'on met à part la balance magnétique, pour laquelle la perturbation a été à peine appréciable, les oscillations se sont produites brusquement comme elles le feraient par l'action d'un courant électrique. Pour d'autres observatoires au contraire, particulièrement à Greenwich, l'inspection des courbes montre que les déviations ont été d'abord en croissant pour atteindre leur maximum au bout de quelque temps, et il n'est pas impossible que le début du phénomène échappe à l'observation. On voit d'après cela combien on peut commettre d'erreurs, soit sur l'époque, soit sur la grandeur des perturbations, en comparant sans une discussion attentive les résultats fournis par des appareils très différents.

Il paraît bien certain que la simultanéité n'existe pas pour les phénomènes observés. Si elle a lieu en France avec des instruments identiques et au degré d'approximation des lectures, le

retard pour les observatoires étrangers varie depuis 0m (Utrecht), 2m (Greenwich et Kew), 3m (Pola), 4m (Bruxelles et Lisbonne), 6m (Wilhelmshaven), jusqu'à 7m pour la composante horizontale à Vienne. J'ajouterai encore qu'aucun effet sensible n'a été constaté dans les observatoires anglais de Falmouth et de Stonyhurst, ni à l'observatoire de Pawlowsk.

Le désaccord de tous ces résultats est manifeste; mais il paraît difficile de dégager la part qui revient aux erreurs possibles d'observation, étant données la petitesse des effets et celle qui est due à la différence considérable des instruments. Enfin si la cause est électrique, on en ignore absolument le mécanisme; comme les courants successifs se disséminent nécessairement à partir du centre de production, on ne peut affirmer qu'à toute distance le premier effet observé corresponde à la même phase du phénomène. La question ne peut donc être résolue par l'observation avant qu'un autre événement analogue ait donné l'occasion de faire des mesures plus exactes.

(*Comptes rendus*, 16 mai 1887.)

Fabrication des charbons pour les lampes à arc.

La fabrication des charbons pour les lampes à arc aux Etats-Unis est devenue une industrie importante. Au cours d'un procès en contrefaçon de brevet à Cleveland (Ohio), il a été déclaré qu'il se consomme journellement, aux États-Unis, 150.000 crayons de charbons, dont 100.000 sont fabriqués à Cleveland où se trouvent 20 fourneaux. Les charbons sont surtout fabriqués avec les résidus de distillation du pétrole, ainsi qu'avec les dépôts charbonneux que l'on trouve autour des puits de gaz naturel. Les substances sont finement pulvérisées, mélangées d'un peu de poix et placés dans des moules. Ceux-ci sont empilés dans des boîtes et mis au four où on les soumet à une chaleur intense. La capacité d'un four ordinaire est de 45.000 crayons. Au moyen d'une couverture mobile, qui forme la partie originale du brevet qui a donné naissance à

cette controverse, on construit deux fours côte à côte et l'on charge le premier pendant que le second est chauffé. Avec ce système, deux hommes peuvent charger un four pendant une journée, les charbons sont soumis à la cuisson pendant 5 jours et le refroidissement s'opère en 24 heures.

(*Revue internationale de l'électricité*, 20 mai 1887.)

Le Gérant : DUNOD.— PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1887 **Juillet-Août**

LA
THÉORIE DE L'ÉLECTRICITÉ DE MAXWELL.

A l'époque où l'on commença d'appliquer le calcul à l'étude de l'électricité, les savants acceptaient sans peine l'idée d'actions à distance s'exerçant d'un corps à un autre à travers l'espace, en vertu d'une propriété fondamentale de la matière, et par le seul fait de la mise en présence des corps réagissants. C'était sur de semblables hypothèses qu'avait été élevé l'admirable édifice de la mécanique céleste, et il était naturel que les mathématiciens, trouvant à l'origine de la science électrique une loi d'attraction toute semblable de forme à la loi de l'attraction newtonienne, étendissent à ce nouveau cas les principes et les méthodes qui avaient fonrni, auparavant, de si beaux résultats. Les premières recherches et, en particulier, celles de Poisson, eurent donc pour point de départ la loi de Coulomb et l'hypo-

thèse d'une action à distance s'exerçant en vertu d'une propriété spéciale.

Mais, comme les faits observés ne permettaient pas d'attribuer à la matière ordinaire cette propriété nouvelle, on en fit le caractère propre d'un fluide impondérable existant à l'intérieur des corps, et ne manifestant sa présence que, dans certaines conditions, par cette propriété même et par ses diverses conséquences. On pouvait trouver à redire, au point de vue philosophique, à une semblable façon de se tirer d'embarras. Ce n'était point tout : l'étude du magnétisme fut abordée dans le même esprit et par les mêmes moyens. D'autre part, pour expliquer les phénomènes optiques, on avait dû supposer l'espace rempli d'un fluide essentiellement distinct de la matière tangible, dont les mouvements propagés depuis la source brillante produisent sur notre œil la sensation de lumière; de même que le son parvient de l'objet sonore à l'oreille par le moyen de l'air, en sorte que chaque branche de la physique débutait par une hypothèse propre, dont les difficultés s'accroissaient encore de l'indépendance, de la simultanéité et du nombre des suppositions introduites parallèlement pour les autres parties de la science. D'ailleurs, rapporter ainsi chaque classe de faits à un ordre de causes particulier revenait visiblement à nier ce lien étroit, cette corrélation intime que l'esprit pressent comme une nécessité entre les divers phénomènes de la nature.

Faraday fut un des premiers à combattre ces tendances : il n'admettait pas qu'un corps pût agir là où il n'est pas, sinon par une série d'intermédiaires, lesquels ne peuvent être cherchés que dans le milieu interposé. Sans s'expliquer sur la nature de l'électricité, il ne

voyait plus le corps électrisé isolé dans l'espace, en présence d'autres corps auxquels rien ne le reliait qu'une propriété occulte, mystérieuse : au contraire, il se le figurait émettant des lignes de force, de nombre et de forme variables, suivant les circonstances, sortes de prolongements invisibles du corps lui-même, s'allongeant à travers le champ pour atteindre les autres corps, les attirer ou les repousser. Mais ce n'est là encore qu'une image, car ces lignes ne sont, elles non plus, que des abstractions, des entités géométriques, incapables de déterminer aucun mouvement. Mais la cause active, il la faut chercher dans le milieu qui sépare les conducteurs électrisés, et Faraday montra que les phénomènes d'attraction se pouvaient expliquer en supposant que l'électrisation constitue le milieu en un état d'équilibre forcé, caractérisé par une tension suivant les lignes de force, une pression égale suivant les directions transversales. Mais encore, que devait-on entendre par ce milieu ? La célèbre expérience de la rotation magnétique du plan de polarisation, en montrant la dépendance des effets lumineux et des phénomènes électromagnétiques, laissait entrevoir qu'il s'agissait de ce fluide hypothétique, où se propagent les ondes lumineuses.

Pour compléter la grande œuvre de Faraday, trois pas restaient à faire, bien inégalement difficiles : établir, par une démonstration générale, que tous les résultats de détail, acquis dans la doctrine des actions à distance, se peuvent également déduire de la théorie de propagation ; il suffit, pour cela, de deux ou trois transformations analytiques aisées. Rendre plus probable, par des rapprochements expérimentaux, l'assimilation encore hasardée de l'éther lumineux et du fluide qui sert de

véhicule aux actions électriques : de nombreux savants, et Maxwell lui-même, ont fait en ce sens des efforts heureux : la tâche, cependant, est loin d'être achevée. Enfin, concevoir un mécanisme de la propagation, et de cette hypothèse unique déduire tous les phénomènes de l'électricité, toutes les relations déjà connues ou encore à vérifier avec la lumière : c'est à cette dernière œuvre qu'est particulièrement attaché le nom de Maxwell; c'est elle dont nous allons reproduire sommairement les traits principaux.

La théorie ondulatoire de la lumière, fondée sur des faits absolument étrangers à l'électricité, admet l'existence d'un milieu général, de densité très faible mais néanmoins finie, susceptible d'être mis en mouvement et de transmettre le mouvement avec une vitesse très grande mais finie et mesurable. Le mouvement de ce milieu implique donc l'existence d'une force vive ou énergie cinétique, et ses déformations élastiques l'existence d'une énergie potentielle. D'autre part, du principe fondamental de l'inertie résulte qu'un corps animé d'un mouvement de rotation autour d'un centre fixe, tend à chaque instant à s'éloigner de ce centre, et que, par suite, il développe dans l'organe de liaison qui sert à le maintenir dans son orbite circulaire, une tension suivant le rayon dont la grandeur dépend de sa vitesse et de sa distance au centre. Il suit de là qu'un corps tournant tend à se contracter suivant la ligne d'axe, à s'élargir suivant le plan équatorial. Une autre conséquence est encore celle-ci : dans un corps tournant autour d'un axe avec une vitesse donnée, et qui n'est d'ailleurs soumis à l'action d'aucune force extérieure pouvant altérer cette vitesse, tout changement dans la distribution de la matière dû à une cause

interne et ayant pour objet de modifier le moment d'inertie de rotation, fait varier en sens inverse la vitesse angulaire.

Ceci posé, l'hypothèse de Maxwell est la suivante :

Tout milieu capable de transmettre la force magnétique se compose d'un nombre très grand de petits corps sphériques ou cellules (cells), *susceptibles de tourner, lesquels, sous l'influence de la force magnétique, prennent, autour des lignes de force comme axes, un mouvement de rotation, dont la vitesse et le sens dépendent de l'intensité et du sens de la force.*

Nous admettrons, pour fixer les idées, que ce sens soit celui de la rotation d'une vis à droite, avançant dans la direction des lignes de force.

Action magnétique. — Le champ magnétique se trouve donc rempli de *tourbillons moléculaires*, tournant tous dans le même sens, et, par suite de leur rotation, se contractant suivant la direction de leurs axes, d'où tension du milieu suivant les lignes de force, se dilatant suivant leur plan équatorial, d'où pression dans le milieu suivant ce plan.

Deux pôles de noms contraires étant mis en présence, les lignes de force vont de l'un à l'autre, en affectant certaines formes courbes : ainsi que l'ont fait voir Faraday et Maxwell, le rapprochement en chaque point des lignes de force unités donne la mesure de la force magnétique ; la simple inspection du diagramme ci-joint suffit donc à montrer que cette force est la plus grande suivant la ligne des pôles et les directions voisines. Ce sera dès lors dans cette partie du champ que la rotation des tourbillons sera la plus rapide, et que la tension du milieu suivant les lignes de force sera la

plus considérable. Ainsi se trouve expliquée l'apparente attraction des pôles. L'énergie potentielle de chacun d'eux n'est, en réalité, que l'énergie cinétique des tourbillons, et réside dans le milieu interposé. Si le champ diminue parce que les pôles se rapprochent, les vitesses de rotation des tourbillons augmentent, mais l'énergie totale du champ diminue de la quantité correspondant au travail de rapprochement des pôles; elle se réduit à zéro, si les deux pôles, de puissances égales, venant au contact, le volume du champ magnétique se trouve réduit à zéro.

De même, si deux pôles de même nom se trouvent en présence, les lignes de force ne vont plus de l'un à l'autre, mais dévient latéralement suivant les directions parallèles, et les pressions transversales déterminées par les tourbillons donnent lieu à une répulsion apparente.

Courant et induction électromagnétique. — Mais par quel mécanisme le mouvement de rotation se transmet-il dans le même sens d'un tourbillon moléculaire au suivant? Nous n'avons jusqu'ici parlé que de magnétisme : ici se présente la notion d'électricité. Maxwel suppose qu'*il existe des particules sphériques extrêmement petites placées entre les cellules qui, roulant sans glisser sur leurs surfaces, opèrent la transmission d'un tourbillon moléculaire à l'autre, sans inversion*, comme fait un pignon de renvoi entre deux roues dentées. Ces particules constituent l'électricité: elles sont, aussi bien que les cellules, de dimensions tout à fait minimes, relativement aux molécules de matière pondérable; elles ne peuvent passer d'une molécule à une autre d'un diélectrique, et peuvent, au contraire, se déplacer dans un conducteur, en éprou-

vant un certain frottement, lequel donne lieu à une production de chaleur et à une perte d'énergie.

Lorsqu'un courant circule dans un fil conducteur, les particules électriques sont animées d'un mouvement de translation. Considérons celles qui forment le filet central : chacune, en frottant contre les cellules qui l'environnent, exerce sur elles un effort tangentiel, et donne ainsi lieu à un tourbillon annulaire dont l'axe de figure est dirigé suivant la trajectoire des particules, et où la rotation s'effectue dans les plans diamétraux. Ce tourbillon réagit à son tour par frottement sur les particules du filet consécutif et tend à les chasser dans la direction opposée à celle du filet central. Pour que ces particules puissent rester en repos, nous devons supposer qu'elles sont sollicitées, à l'autre extrémité de leur diamètre, par un second tourbillon annulaire de même axe et de même vitesse que le premier ; car alors les deux efforts tangentiels, égaux et contraires, forment couple, et la particule tourne autour de son centre sans avancer ni reculer. Enfin, pour que la particule non seulement ne recule pas, mais encore participe au mouvement de progression du filet central, ce qui n'est autre chose que la traduction dans notre hypothèse du fait du courant, il faut que le second anneau tourbillon exerce un effort tangentiel plus grand que le premier, c'est-à-dire qu'il tourne plus vite. Et ainsi de suite, jusqu'à la surface du conducteur ; nous aurons une série d'anneaux, tous ayant même axe de figure et même sens de rotation, mais animés de vitesses progressivement croissantes. Telle devra être notre conception d'un conducteur traversé par un courant.

Nous voici parvenus à la surface du fil ; par le même

mécanisme, le dernier tourbillon réagit sur la première particule du diélectrique, et, par ainsi, sur l'ensemble du milieu, où s'établissent jusqu'à une distance infinie une série de tourbillons annulaires de diamètres de plus en plus grands. Si les cellules présentent une certaine élasticité, et, par suite, ne commencent à tourner sous l'impulsion tangentielle qu'après avoir subi une certaine déformation, le mouvement ou l'induction électromagnétique ne se transmet pas d'une façon instantanée, mais, au contraire, avec une vitesse définie dépendant des qualités élastiques du milieu, soit de la densité et de l'élasticité des cellules dans le diélectrique. Nous verrons tout à l'heure quelle est cette vitesse.

Sens de la force électromagnétique et lois d'Ampère. — Considérons, pour plus de simplicité, un courant rectiligne. Les particules électriques du courant et les cellules qu'elles mettent en mouvement, par frottement, marchent dans le même sens, ce qui définit la rotation du tourbillon. D'ailleurs, le sens de la force magnétique créée par un tourbillon et le sens de la rotation de celui-ci sont, par notre hypothèse, liés par une relation de vis à droite (*). Il en résulte que le sens d'un courant et celui de la force magnétique qui leur est due sont aussi liés par une relation de vis à droite, ce qui est conforme à l'expérience.

En second lieu, en chaque point, le milieu doit être soumis à une tension suivant les lignes de force magnétique, c'est-à-dire suivant les axes de rotation des tourbillons, et à une pression suivant les directions

(*) Le mouvement de vis à droite s'exécute par le jeu des muscles du bras, lorsque simultanément on porte la main droite en avant et qu'on en tourne le revers au dehors.

transversales, c'est-à-dire suivant toute direction comprise dans un plan mené par le fil et par le point considéré.

Plaçons donc un fil traversé par un courant dans un champ magnétique perpendiculairement aux lignes de force SN (*fig.* 1), et supposons le courant CC′ s'éloi-

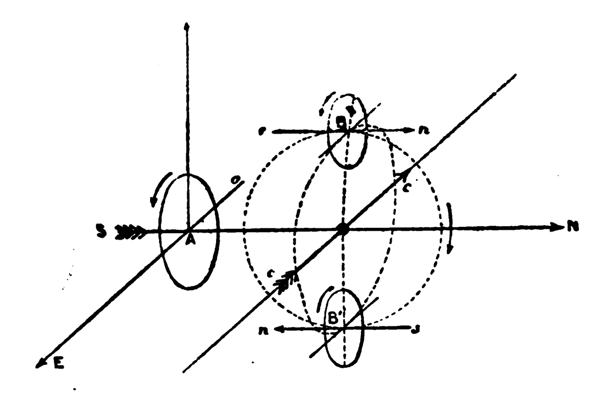


Fig. 1.

gnant du lecteur. Il est aisé, d'après ce qui précède, de figurer les rotations moléculaires dues au champ magnétique (cercle A) et courant du fil (cercles B et B′) : la simple inspection de la figure montre alors qu'au-dessus du fil ces rotations sont de même sens et s'ajoutent, et qu'elles se contrarient au-dessous. La vitesse angulaire doit donc être moindre au-dessous qu'au-dessus, et, par suite, le fil doit être sollicité par une attraction apparente vers le bas de la figure.

De même, prenons deux fils parallèles (*fig.* 2), traversés par des courants de même sens. Les rotations dues à chacun d'eux sont de sens contraires pour l'espace compris entre les fils; elles sont de même sens pour l'espace extérieur; l'effet produit doit donc être

le même que celui d'une attraction tendant à rapprocher les fils.

On retrouve ainsi toutes les lois d'Ampère.

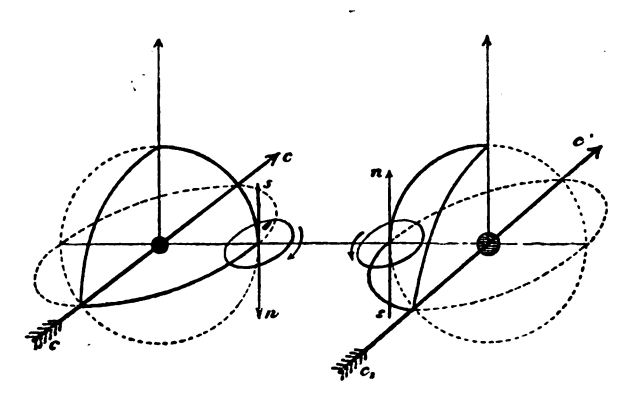


Fig. 2.

Courants induits et loi de Lenz. — Un courant commence à passer dans un fil : les particules électriques qui se déplacent impriment aux cellules voisines le mouvement rotatoire ; et nous avons vu qu'il se forme ainsi dans le conducteur une série d'anneaux-tourbillons à vitesse progressivement croissante. Une fois parvenu au diélectrique, le mécanisme de transmission se modifie en ce sens que les particules ne peuvent plus se déplacer que d'une très petite quantité, et qu'elles tournent seulement sur elles-mêmes, ce qui suffit d'ailleurs pour propager plus loin le mouvement tourbillonnaire. Mais supposons que la perturbation atteigne un deuxième conducteur : les particules frottent contre la dernière couche de cellules du milieu et en reçoivent une impulsion tangentielle qui, par la nature même du mécanisme de transmission, est en sens inverse du mouvement des particules dans le premier

conducteur, et comme elles sont libres d'obéir à cette impulsion, elles s'ébranlent, et le second conducteur est traversé par un courant de sens contraire au courant principal. Mais bientôt, entre le frottement des cellules diélectriques contre les particules qui transmet le mouvement, et le frottement des particules dans le conducteur, lequel tend à les arrêter, s'établit une compensation, dont l'effet est de supprimer le mouvement de translation des particules, et de ne leur laisser qu'un mouvement de rotation sur elles-mêmes, qui propage plus loin l'induction électromagnétique. Le courant induit ne doit donc être que passager.

Lorsqu'une force électromotrice est appliquée au fil, le courant n'acquiert son état de régime que quand les divers tourbillons, tant dans le fil que dans le milieu, ont eux-mêmes pris leur état permanent, et il faut dépenser du travail pour le leur communiquer. D'où l'impossibilité qu'une force électromotrice finie donne lieu instantanément à un courant fini. Mais il doit exister une réaction d'inertie ayant même effet qu'une force électromotrice inverse, et désignée, pour cette raison, sous le nom de *force électromotrice de self-induction*. Cette réaction est d'autant plus puissante qu'il faut dépenser plus d'énergie pour développer les tourbillons dans le milieu voisin : elle dépend donc de la nature de ce milieu, de sa densité, que Maxwell assimile à la perméabilité magnétique. Ainsi, ce serait en raison de la très grande densité du milieu dans le fer, que la self-induction des bobines est si largement accrue par des noyaux de ce métal.

Enfin, si après que le courant a été établi dans un fil, le circuit vient à être rompu, les choses ne peuvent rentrer au repos qu'après que s'est entièrement dé-

pensée l'énergie accumulée sous forme de force vive dans les tourbillons du diélectrique. Or, dans ce milieu qui constitue une sorte de mécanisme à connexions parfaites, le mouvement ne donne lieu à aucun travail : ce ne peut donc être que dans les conducteurs du champ et par le déplacement de leurs particules électriques, que se dissipe cette réserve d'énergie. Mais si la translation des particules électriques du conducteur a imprimé aux cellules du diélectrique un certain mouvement, il est clair que, par voie de réaction, ce mouvement continuant doit entretenir dans le même sens la translation des particules. Le conducteur principal doit donc être traversé par un extra-courant, et les conducteurs voisins par des courants induits, tous de même sens que le courant primitif.

Supposons que, dans un champ magnétique, un con-

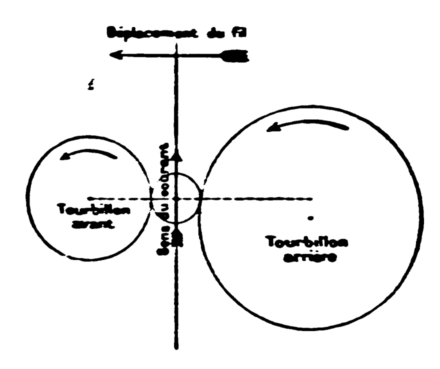


Fig. 3.

ducteur perpendiculaire aux lignes de force se déplace de manière à les couper à angle droit : les tourbillons qu'il rencontre ainsi se déforment avant de lui livrer passage, se contractent suivant l'équateur, et par suite augmentent de vitesse; au contraire, ceux qu'il

laisse derrière lui se dilatent et ralentissent. Les particules électriques du conducteur, saisies entre des tourbillons de vitesses inégales, reçoivent une impulsion tangentielle dans le sens de la rotation la plus rapide, et engendrent un courant. Or, par raison de réaction, ce courant est évidemment de même sens que celui qui, parcourant le fil, accélérerait la rotation des tourbillons en avant, et la ralentirait en arrière ; qui, par conséquent, déterminerait sur le fil une action électromagnétique d'avant en arrière. Le sens du courant induit est donc tel que son effet contrarie le mouvement du conducteur. Ainsi les lois de Faraday et de Lenz sont des conséquences de notre hypothèse.

Phénomènes électrostatiques. — Si, sur une certaine étendue, l'électricité est déplacée dans un certain sens, les particules exercent des efforts tangentiels sur les cellules contiguës, mais ne peuvent les faire tourner, parce que ces efforts sont égaux et de même sens aux deux extrémités de chaque diamètre. Il en résulte seulement une pression sur les cellules et une déformation élastique du milieu, laquelle se transmet de proche en proche par les particules électriques comme par un fluide incompressible : c'est ce qui constitue l'induction électrostatique. Dès que la force qui déplaçait l'électricité cesse d'agir, l'élasticité du milieu déformé entre en jeu et ramène chaque particule à sa place initiale, et toute l'énergie accumulée dans le milieu déformé se dépense dans la décharge. La différence entre ce *déplacement électrique* et le courant est qu'ici les particules électriques ne peuvent s'éloigner de leur position initiale : en sorte que, suivant la comparaison de Maxwell, un conducteur ressemble à une membrane poreuse qui oppose plus ou moins de résistance au pas-

sage d'un liquide, et un diélectrique est comme une membrane élastique qui est imperméable au liquide, mais qui transmet sa pression.

Ainsi, tout autour d'un conducteur chargé, et dans la direction du déplacement électrique, les cellules du diélectrique sont soumises à une compression qui décroît à mesure qu'on s'éloigne, parce qu'elle se répartit sur de plus grandes surfaces ; dans les directions transversales, il y a au contraire dilatation. La constitution du milieu est la même que nous avons déjà rencontrée à propos de l'induction magnétique ; elle aura donc pour conséquence entre corps électrisés les mêmes apparences d'attraction et de répulsion que nous avons vues et expliquées entre pôles magnétiques.

Le rapport de l'unité électrostatique à l'unité électromagnétique d'électricité est égal à la vitesse de la lumière. — Considérons deux conducteurs avec des charges égales et de même nature : la répulsion qui s'exerce entre eux est proportionnelle à l'élasticité du milieu qui les sépare et au carré de leur charge ; si donc on change la nature du milieu, c'est-à-dire son élasticité, pour maintenir la même valeur de l'effort mécanique, il faudra changer en même temps la valeur des charges et les faire varier en raison inverse de la racine carrée de l'élasticité. C'est seulement après spécification du milieu où l'on opère que se trouve complètement définie l'unité électrostatique d'électricité, c'est-à-dire la quantité qui, à l'unité de distance, repousse une quantité égale avec l'unité de force : si l'on change le milieu, la grandeur de l'unité ainsi définie varie en raison inverse de la racine carrée de l'élasticité de ce nouveau milieu.

Mais on peut adopter une tout autre définition de

l'unité d'électricité, en partant de la loi d'Ampère au lieu de la loi de Coulomb. On peut dire : l'unité d'électricité est la quantité qui, débitée par un courant en une seconde, et agissant sur un autre courant égal à l'unité de distance, exerce sur lui l'unité de force. C'est la définition dite *électromagnétique*. Ici encore intervient la nature du milieu : car la pression latérale due à un tourbillon moléculaire est proportionnelle au carré de sa vitesse et à la densité du milieu; d'ailleurs, les vitesses sont les mêmes pour deux intensités égales. Donc, pour les divers milieux, l'unité électromagnétique d'électricité varie en raison inverse des racines carrées des densités.

Pour une substance quelconque, le rapport de l'unité électromagnétique à l'unité électrostatique est donc égal à la racine carrée du rapport de l'élasticité à la densité caractéristique, dans cette substance, du milieu général qui transmet les perturbations électromagnétiques. Or, d'une part, la formule à laquelle nous parvenons pour la valeur de ce rapport n'est autre, d'après la mécanique rationnelle, que celle de la vitesse avec laquelle se propagerait dans le milieu un mouvement ondulatoire à vibrations transversales. D'autre part, nous avons admis, par notre hypothèse, que le milieu véhicule des perturbations électromagnétiques est le même qui sert à transmettre les ondes lumineuses. Enfin, la théorie de la lumière suppose, dans son ensemble, que les vibrations sont transversales. C'est donc, pour toute substance diélectrique, la vitesse même de la lumière que représente le rapport des deux unités d'électricité. On sait que cette conclusion de la théorie a été vérifiée expérimentalement pour l'air.

Le pouvoir inducteur spécifique est égal au carré de l'indice de réfraction. — Deux conducteurs ayant des charges déterminées exercent l'un sur l'autre, à distance déterminée, une action en raison inverse du pouvoir inducteur spécifique du diélectrique qui les sépare, proportionnelle, dans notre théorie, à l'élasticité du milieu de propagation dans le diélectrique. Les pouvoirs inducteurs spécifiques sont donc en raison inverse des élasticités du milieu. D'ailleurs, les densités du milieu, qui correspondent aux perméabilités magnétiques, sont sensiblement égales pour le vide et les divers diélectriques. D'où il suit que, pour ces corps, les pouvoirs inducteurs spécifiques sont en raison inverse des carrés des vitesses de la lumière, ou, ce qui revient au même, qu'ils sont égaux aux carrés des indices de réfraction. Mais ici se présente une double difficulté : l'indice de réfraction change avec la nature de la radiation que l'on considère, et les opérations par lesquelles nous pouvons mesurer les pouvoirs inducteurs spécifiques comportent des durées de charge électrique énormément plus longues que les périodes de vibration de la lumière. On ne peut donc attendre un accord numérique exact entre les deux ordres de résultats, et Maxwell lui-même ne formulait cet énoncé que comme loi limite, pour les indices relatifs à une radiation de longueur d'onde infinie.

Déjà, de nombreuses expériences ont paru confirmer ces prévisions théoriques, et si les difficultés exceptionnelles, attachées à ce genre de recherches, ont quelquefois aussi conduit à des insuccès apparents, on peut dès maintenant considérer que les écarts n'acquièrent quelque importance que pour les corps dont le rôle diélectrique n'est pas nettement défini.

Les substances conductrices sont opaques. — Nous avons déjà fait remarquer que, par la nature des liaisons, le mouvement tourbillonnaire s'effectue dans les diélectriques sans consommation de travail, et que par suite il peut s'y propager à l'infini : ces milieux sont donc transparents. Mais dans les conducteurs, au lieu de transmettre simplement les rotations, les particules électriques se mettent elles-mêmes en mouvement malgré une résistance de frottement, et, comme rien dans le mécanisme de transmission ne tend à les ramener à leur position première, la perturbation électromagnétique perd graduellement son énergie sous forme de chaleur, s'affaiblit à mesure qu'elle se propage et finit bientôt par s'éteindre. Les corps qui interceptent ainsi les perturbations électromagnétiques doivent en particulier être opaques pour la lumière.

Exacte dans son ensemble, cette conclusion ne laisse pas que d'offrir d'assez sérieuses difficultés lorsqu'on essaye de la soumettre à des vérifications numériques, peut-être pour cette même cause de lenteur dans le mode opératoire qui rend déjà si pénibles les mesures de pouvoirs inducteurs spécifiques.

Rotation magnétique. — En dernier lieu, si on cherche, à l'aide de la théorie des tourbillons moléculaires, quelles influences peut subir un rayon de lumière polarisée traversant un champ magnétique dans le sens des lignes de force, le résultat est la loi de Faraday sous une forme un peu plus complète, car on trouve que la rotation magnétique doit être proportionnelle :

à l'indice de la lumière employée ;

à l'inverse du carré de sa longueur d'onde dans l'air ;

à l'épaisseur de la substance ;

à la densité du milieu de propagation dans cette substance, c'est-à-dire à sa perméabiliité magnétique ;

à la vitesse de rotation des tourbillons, c'est-à-dire à la composante de la force magnétique suivant la direction du rayon lumineux ;

au diamètre moyen des tourbillons.

De même, l'hypothèse se prête aisément à l'explication des phénomènes du diamagnétisme, sous la condition que dans les corps diamagnétiques, on admette un mouvement tourbillonnaire en sens inverse de celui qui règne dans les corps magnétiques.

Nous bornerons ici cet exposé sommaire : aussi bien ne serait-il guère aisé de pousser plus loin cette étude sans recourir au calcul, et telle n'est point notre intention. Mais qu'il nous soit permis d'insister sur un point encore, et non le moins essentiel. Quelque idée que l'on se fasse des relations des conducteurs et des milieux diélectriques, quelque valeur que l'on accorde à l'hypothèse si originale de Maxwell, ces conceptions intangibles de l'esprit, ces êtres d'imagination : *particules*, *cellules*, *tourbillons*, *n'interviennent que comme mécanisme de liaison*, *et n'ont pas à figurer dans les équations finales.* Les résultats que l'on a obtenus à leur aide sont et restent indépendants de leur existence effective, et demeurent définitivement acquis. Tout l'échafaudage de nos spéculations peut n'être que mensonge : du moins nous a-t-il permis d'atteindre et de saisir la vérité.

SÉLIGMANN-LUI.

NOTE

SUR

QUELQUES CONSTRUCTIONS DE LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

AU TONKIN

Ligne de Hué à Thuan-an.

L'aviso *le Pluvier* qui, le 7 octobre 1884, partait du Tonkin pour conduire à Hué M. le Résident général Lemaire, emportait en même temps le personnel et le matériel télégraphiques nécessaires pour établir, le plus vite possible, une communication électrique entre Hué et le poste de Thuan-an, desservi par le câble de Saïgon à Haïphong. L'urgence d'avoir cette ligne était extrême, et les instructions prescrivaient de commencer aussitôt le travail, malgré la saison défavorable, en se procurant sur place les poteaux.

Les difficultés étaient grandes : d'abord, il n'était pas possible d'amener le matériel à Hué sans transbordement, car la barre de Thuan-an, très mauvaise en tout temps, devient absolument impraticable pendant la mousson de nord-est, à laquelle elle est complètement exposée. De plus, les pluies d'hivernage, qui règnent en Annam pendant cette mousson, et non pendant celle de sud-ouest comme en Cochinchine et au Tonkin,

rendaient la navigation sur la rivière de Hué périlleuse pour les embarcations, et obligeaient d'attendre une embellie pour rien décharger; elles menaçaient aussi de retarder de beaucoup la livraison des poteaux, que M. le Résident général avait bien voulu demander au gouvernement annamite dès son arrivée, mais qu'on ne pouvait aisément abattre ni transporter dans cette saison; enfin, elles détrempaient le sol déjà peu résistant, rendaient plus profondes les lagunes et les rivières qu'il fallait traverser. Si donc on ne voulait point attendre jusqu'à la belle saison, il était indispensable d'éviter toute cause de délai. C'est pourquoi l'autorisation fut demandée à M. le directeur du service Demars, et obtenue, d'établir la ligne sur appuis provisoires de bambous et aréquiers qu'il était aisé de se procurer rapidement. Dans ces conditions, le travail put commencer le 21 octobre, lendemain de l'arrivée, à Hué, des premières caisses de matériel.

La distance à franchir était de 13^{km},400. La ligne partant du bureau de Hué, près de l'hôtel de la Résidence générale, suit d'abord le long de la rivière et du canal du Roi une route étroite bordée d'énormes touffes de bambou, dans lesquelles il fallut faire, non plus des élagages même considérables, mais de véritables trouées. A 1 kilomètre de la ville, il fallut traverser le Van-Duong, qui est continuellement fréquenté par de fortes jonques à mâture assez haute. Comme on manquait de poteaux en bois de taille suffisante, on construisit, sur les deux rives, des appuis mâtés, formés chacun de trois bambous des plus longs et des plus forts plantés en terre, et venant serrer par leur extrémité supérieure une quatrième pièce; la liaison était assurée par des ligatures en fil de fer, s'étendant sur

une longueur d'un mètre environ; enfin, le tout était consolidé par six haubans prenant, trois à l'assemblage, et les trois autres à 20 centimètres en dessous de l'isolateur.

A 7 kilomètres plus loin, la route débouche sur une grande plaine découverte que les pluies avaient inondée jusqu'à la lagune, couvrant d'eau par place le chemin même. La plantation des poteaux était très difficile, car, aussitôt le trou creusé, il fallait se hâter de l'entourer d'une sorte de digue, et le remplir de pierres et de terre sèche avant qu'il n'eût été rempli par les infiltrations. Près du fort n° 8, nouveau chenal à traverser, mais peu profond et fréquenté seulement par de petites barques; au delà, une île basse, puis enfin la lagune.

Thuan-an s'élève sur une étroite bande de terre formée de dunes sablonneuses, séparant la mer de la lagune de l'est, au bord de laquelle on était parvenu. Cette lagune, large de 1.800 à 2.000 mètres, présente d'abord, sur une largeur de près d'un kilomètre, des fonds s'abaissant très lentement de 20 centimètres à 1 mètre au maximum; dans la partie restante, plus profonde dans son ensemble, se creuse encore sur la rive de Thuan-an le grand chenal, qui va rejoindre, à 3 kilomètres plus au nord-ouest, les bouches de la rivière de Hué; ce chenal présente une largeur moyenne de 500 à 600 mètres. Tout l'approvisionnsment de câble qu'avaient pu fournir les dépôts du Tonkin se réduisait à deux bobines de 500 mètres chaque : encore l'une d'elles renfermait-elle, en deux bouts, une longueur de 150 mètres environ de vieux câble tout à fait défectueux que l'on dut rejeter. Avec des ressources aussi restreintes, on ne pouvait songer qu'à franchir

les eaux profondes et à rejoindre le bas-fond ; du côté de Thuan-an, une guérite ordinaire servit de point de départ, et l'immersion fut opérée ; mais une faute s'étant déclarée vers le milieu du conducteur dans une partie du vieux câble qu'on aurait cru pouvoir conserver, il fallut relever, supprimer entièrement la partie mauvaise, et aboutir sur le banc de l'île à des fonds de 40 à 50 centimètres ; là, le câble fut amarré par de fortes ligatures sur un gros pieu enfoncé de $1^m,50$ dans le sable, qui servit en même temps à établir le raccord avec la ligne aérienne au moyen d'une simple boîte à coupures installée à 2 mètres au-dessus du niveau de l'eau. On avait préféré cette disposition à l'emploi d'une guérite ordinaire, afin de donner moins de prise aux vents violents qui règnent une partie de l'année.

Restait le bout de ligne à établir dans le bas-fond de la lagune, depuis le bout du câble jusqu'à l'île, pour lequel les bambous n'auraient plus offert une solidité suffisante dans le sol vaseux. On fit usage de gros pieux, de 25 centimètres de diamètre, enfoncés dans le sol de $1^m,50$, sur lesquels les bambous étaient ensuite fixés par des clous et des ligatures en fil de fer. Comme on ne possédait aucun appareil pour enfoncer les pieux, on dut recourir au procédé rudimentaire employé par les Annamites dans la construction de leurs barrages : deux hommes grimpent sur la tête du pieu et, s'y maintenant à de gros clous fixés à l'avance, se balancent et élargissent ainsi lentement le trou où la pièce de bois s'enfonce peu à peu, maintenue au pied par d'autres hommes qui l'empêchent de trop dévier de la verticale. La ligne, ainsi construite dans la lagune, fit preuve d'une véritable solidité, et résista, sans la moindre avarie, au typhon des 7 et 8 décembre

1884, qui renversa nombre de poteaux plantés en sol résistant. Les pieux employés étaient de l'essence appelée kiên-kiên par les indigènes, qui passe pour durer au moins quinze ans dans l'eau saumâtre.

Avant de rentrer au Tonkin, on profita de l'occasion pour reconnaître le tracé d'une ligne de Hué à Tourane. Ce chemin, qui a acquis depuis une triste notoriété, est assez difficile, surtout dans le massif situé au nord de la baie de Tourane ; il suit alors, parallèlement à la mer, le flanc de montagnes granitiques, avec des pentes souvent supérieures à 45°, traverse une région très peu peuplée entre Tourane et Trouï, et presque déserte de Lang-Co à Nam-thung, et atteint, au col des Nuages, une altitude maximum de 470 mètres. A ce moment, la population semblait bien disposée et fournit volontiers les porteurs pour le bagage.

Au Tonkin même, l'organisation des chantiers et la marche du travail varient beaucoup suivant la région où l'on opère. Dans le delta ou à proximité des voies navigables, la construction est très facile à la saison des basses eaux. Quatre ouvriers suffisent pour creuser journellement dans un sol très peu résistant les trous nécessaires pour 5 ou 6 kilomètres de ligne. Les routes étant toujours voisines des cours d'eau où des barques amènent le matériel, la distribution à pied d'œuvre ne souffre pas non plus de difficultés. Dans certains cas, avec 40 ouvriers, on a pu établir jusqu'à deux et trois chantiers de plantation de poteaux échelonnés, 6 ou 8 hommes seulement suffisant à mettre à terre et à distribuer le matériel. Nous allons donner deux exemples de ce genre de travaux :

Ligne de Phu-lang-thuong à Chu, section de Lochnam (janvier 1885).

Le tracé de cette ligne avait été arrêté par M. le directeur du service, en vertu des considérations suivantes, que nous extrayons de son rapport : « Dès que la marche sur Langson fut décidée, le général en chef m'ordonna de relier à notre réseau les points pouvant servir de bases d'opérations, c'est-à-dire Kep et Chu. Une ligne de Phu-lang-thuong à Kep n'offrait pas de sérieuses difficultés... La ligne de Phu-lang-thuong à Chu offrait au contraire de réelles difficultés. Deux tracés pouvaient être suivis, l'un à peu près direct : la route annamite de Phu-lang-thuong à Chu, l'autre côtoyant les deux fleuves fréquentés par nos bâtiments à vapeur : le Son-thuong et le Loch-nam. La route, qui n'est encore qu'un petit sentier, n'avait été parcourue par nos troupes qu'aux environs des points extrêmes ; on signalait encore, sur une grande partie du territoire traversée, l'incursion continuelle de bandes de pillards chinois ; tous les transports de poteaux et de matériel devaient se faire à dos d'homme. Le second tracé offrait une plus grande sécurité pour la surveillance et l'entretien ; les canonnières en station dans le Song-thuong et le Loch-nam auraient protégé la ligne. Mais les rives sont couvertes de touffes de bambous très épaisses, le travail d'abattage aurait demandé trop de temps. En outre, ce tracé comportait une augmentation de 25 kilomètres sur le premier : cette dernière considération avait une grande importance, vu notre approvisionnement restreint. Le général, sur ma proposition, adopta un tracé mixte suivant

le Loch-nam en coupant les courbes trop prononcées, et ensuite prenant la route de Phu-lang-thuong au village de Tien-Ngha. »

Le 3 janvier, un convoi de poteaux chargés sur des jonques indigènes partait de Hanoï pour Phu-lang-thuong. Le 5, partait le personnel, composé d'un sous-inspecteur, avec 2 surveillants français et 40 coolies indigènes ; l'escorte était de 1 caporal français et 5 tirailleurs tonkinois; deux jonques portaient le matériel. On arrivait à Phu-lang-thuong le 7, à midi, et la fin de la journée était employée à mettre à terre le matériel et les poteaux nécessaires. Le lendemain, la ligne était commencée à partir du bureau de Phu-lang-thuong, et les premiers jours la construction marchait assez rapidement, grâce à la facilité que l'on trouvait à distribuer le matériel. Dans cette région mamelonnée, le sol est plus résistant que dans le delta et permet de planter les poteaux en dehors des chemins et talus. La distance avait été raccourcie en coupant les nombreux coudes de la route, et le 11 au matin on avait atteint Long-Xam, à 16 kilomètres de Phu-lang-thuong, ayant établi 13 kilomètres de ligne. Là, les poteaux commençant à manquer, on dut envoyer toute l'équipe de travailleurs en chercher de nouveaux à Lhu-lang-thuong : le maire de Xam, qui n'avait pu être décidé à fournir un renfort de coolies pour ce transport, avait du moins promis de faire abattre des poteaux dans la forêt et de les amener.

L'escorte, qui avait déjà été augmentée à Phu-lang-thuong de 1 caporal et 5 tirailleurs algériens, fut renforcée de nouveau de 4 hommes et 1 caporal du bataillon d'Afrique, ce qui la portait à 17 hommes. En effet, l'ennemi était proche, et, le jour même, la

présence des Chinois était signalée dans le village de Kap : une reconnaissance poussée jusqu'à ce point n'y trouvait cependant rien d'inquiétant. La construction reprit donc le lendemain et continua sans incident jusqu'au 15. Ce jour-là, vers six heures du matin, le chantier se trouvant entre Kap et Tien-ngha (ou Tam-Ra), des coups de feu se firent entendre, et on aperçut une bande de 100 à 150 Chinois pillant un village voisin. Ceux-ci, dès qu'ils virent l'atelier, tirèrent dans sa direction sans l'atteindre, et, l'escorte ayant riposté par quelques feux de peloton du haut d'un petit mamelon, se dispersèrent aussitôt. Le même jour, à midi, la ligne était raccordée à la section de Chu, construite simultanément sur la rive du Loch-nam par un autre atelier.

Ligne de Quang-yên à Hongay.

La ligne à établir de Haïphong à Quang-yên et Hongay rencontre comme premier obstacle le Cua-cam, qu'on ne peut franchir autrement qu'avec un câble ; pour mettre ce câble à l'abri des ancres des navires, il est nécessaire de le poser en amont du port, mais alors on rencontre le Song-tong-bac, canal qui relie le Cua-cam au Lach-tray. On avait en vue, à la même époque, une ligne de Haïphong à Haïduong, qui devait suivre le tracé de la ligne dont nous nous occupons jusqu'à Nui-déo, sur la route royale de Quang-yên à Haï-duong. C'était donc le cas d'amorcer du même coup les deux opérations en traversant avec des câbles à plusieurs conducteurs les deux cours d'eau indiqués ci-dessus, et le Song-mieu devant Quang-yên. A Quang-yên, le bureau fut provisoirement installé dans

deux petites chambres de la citadelle ; puis les jonques chargées de matériel étant arrivées de Haïphong, on débarqua le matériel qui, d'après les renseignements recueillis, devait être transporté à dos d'homme jusqu'à Dong-Lin, sur la route de Hongay, et le travail commença le lendemain 24 octobre. Une difficulté sérieuse résultait de la nécessité de reconnaître la route pendant que se faisait la construction : le sous-inspecteur chargé des travaux dut partir en avant pour décider du tracé de la ligne.

Au sortir de Quang-yên, on marche d'adord au nord, pour éviter des bas-fonds qui se couvrent d'eau à chaque marée. Puis, à 8 kilomètres, au village de Dong-Lin, on tourne à l'est, et on traverse une plaine de 4 kilomètres, où des restes de digue montrent qu'il existait autrefois une route bien entretenue; mais il n'y a plus aujourd'hui qu'un sentier coupé à tout instant par des ruisseaux ou des lagunes, où se fait sentir le flux. Au bout de cette plaine, près d'un groupe de maisons qui constituent le village de Lip, on franchit une petite rivière praticable à haute mer pour les jonques légères ; puis le sentier, baptisé du nom ambitieux de route de Chine, commence à monter sur le flanc des montagnes qui forment le rivage. Il n'était pas possible d'atteindre Hongay le soir même; il eût été imprudent de s'engager la nuit dans le massif montagneux, encore infesté de bandes chinoises irrégulières avec lesquelles la compagnie qui fournissait l'escorte du chantier, avait eu un engagement la semaine précédente, au sud de Lip. La reconnaissance fut donc arrêtée à Day-dang, à 24 kilomètres de Quang-yên, et le lendemain on continua sur Hongay. La route est très pénible ; à chaque instant, il faut descendre le

flanc raviné de la montagne pour remonter par des pentes escarpées ; les ruisseaux n'ont pas de ponts et doivent être passés à gué. Enfin, on abandonne la route de Chine, et on gagne Hongay par un sentier abrupt qui gravit d'abord un sommet dominant le village de 300 à 350 mètres, et le redescend ensuite. Enfin le poste militaire, qu'il s'agissait de desservir, n'est pas au village, mais dans une île séparée de la terre ferme par un canal, peu profond à la vérité, mais qu'on ne peut franchir qu'en barques, ou, à marée basse, en faisant 2 ou 3 kilomètres sur la vase laissée à découvert par le retrait des eaux. On voit les difficultés et les frais qu'aurait entraînés la construction et l'entretien d'une ligne suivant entre Day-dang et Hongay le tracé que nous venons de décrire.

Heureusement, en revenant par mer à Quang-yên, on put, à la faveur de la marée haute, longer la côte d'assez près, et se rendre compte qu'il serait possible d'établir la ligne sur le flanc des collines, en contournant le massif montagneux de Dong-day à Hongay.

Les travaux avaient été commencés aux abords de Quang-yên sous la direction des surveillants français. Dans les rizières où la route, suivant les talus élevés par les indigènes pour retenir l'eau sur leurs cultures, fait des coudes nombreux, on s'attache à éviter les parties inondées, et on place les poteaux sur ces talus en conservant une direction aussi rectiligne que possible ; mais on est obligé de faire des portées très inégales, allongées ou raccourcies suivant le cas. A 4k,500 de Quang-yên se présente un petit ruisseau, dont les rives très basses sont couvertes à marée haute sur une largeur de 350 mètres ; mais le sol, formé d'une argile ferrugineuse compacte, était assez

résistant pour qu'on pût se borner à planter les poteaux à marée basse, en protégeant leur pied par un talus assez haut. Au contraire, la rivière de Lip dut être traversée en trois portées de 120, 250 et 325 mètres, soutenues par de forts poteaux de 14 mètres haubanés, et installés sur les rives et dans deux îlots. Entre Lip et Dong-lin, les débris de la digue et quelques îlots au milieu des bas-fonds avaient permis de planter tous les poteaux en terrain solide. Tout le matériel avait été transporté par jonques à Quang-yên et Lip, et, de ces deux points, réparti sur toute la route jusqu'à Day-dang.

De Day-dang à l'île de Hongay, les jonques chargées de matériel pouvaient suivre le chantier, mais le débarquement n'était pas aisé; les rives sont couvertes de palétuviers, et, à marée basse, sont à sec sur des étendues considérables. Souvent on ne pouvait s'approcher de la terre ferme de moins de 300 mètres; et, après avoir franchi cet espace dans l'eau, traversé à grand'peine la muraille serrée des palétuviers en enfonçant dans la vase à mi-jambe, il fallait encore gravir le flanc des montagnes sans aucun chemin; quelquefois il fallut mettre le feu aux herbes sèches pour frayer un passage. Les ouvriers annamites qui faisaient ces transports, marchant pieds nus, furent bientôt blessés, et atteints de plaies ou de fièvres. Et pour continuer le travail, on dut laisser au repos chaque jour un tiers ou même une moitié de l'équipe. A 28 kilomètres de Quang-yên, une rivière à rives basses et couvertes de palétuviers dut être franchie par une portée de 350 mètres, soutenue par des poteaux mâtés. Il fallut une portée plus longue encore, 400 mètres, pour passer le canal qui sépare le village

de l'île de Hongay; dans cette île même, les accidents de terrain, très brusques, obligèrent à jeter le fil entre les sommets de deux collines de 200 à 280 mètres de hauteur, desservant sur la seconde un poste optique en relation avec la baie d'Along.

Les travaux d'établissement étaient terminés et la ligne, longue de 38k,800, était livrée au service le 20 novembre.

Aussitôt rentré à Haï-phong, le chantier, qui avait construit la ligne précédente, reçut l'ordre de repartir pour établir la communicaton avec Haïduong, qui devait emprunter jusqu'au Cua-Cam les câbles et les poteaux de la ligne de Haïphong à Quang-yên. De Quang-yên à Haïduong s'étend une route mandarine en assez bon état, et il n'y a d'autres accidents de terrain que les lits du Manh-Luat, large de 230 mètres, et du Thay-binh, large de 1.400 mètres, lesquels furent franchis en câble. Après l'achèvement de cette ligne, le chantier entreprit sans désemparer la construction de celle de Haïduong à Hanoï; là encore la disposition du terrain était assez favorable, et les 56 kilomètres de la première ligne, les 35 de la seconde purent être construits du 25 novembre au 2 janvier 1886. Nous n'aurions donc pas parlé de ces travaux qui n'ont présenté, par eux-mêmes, aucune particularité remarquable, si là encore, dans la journée du 3 décembre et dans la nuit suivante, les chantiers ne s'étaient trouvé dans le cas de faire face, avec 11 hommes d'escorte, à une bande ennemie d'environ 200 hommes.

Dans les régions montagneuses, où il faut s'éloigner des voies fluviales, les transports absorbent la plus grande partie du personnel; car malgré que l'on prépare d'avance des dépôts de matériel dans les postes

par lesquels on doit passer, il faut néamoins emporter en construction avec soi, non seulement le matériel courant, mais encore un matériel de réserve pour n'être pas pris au dépourvu, et l'on ne peut éviter d'avoir des convois considérables. Que si l'on peut de temps à autre se rapprocher des rivières, les conditions de distribution se modifient très rapidement; et l'organisation du chantier, toujours subordonnée à la nature du terrain où l'on opère, doit changer d'un jour au suivant, ou même du matin au soir.

Il y a enfin des difficultés locales avec lesquelles il faut compter chaque fois, comme l'approvisionnement en poteaux ou le déblaiement de la route. Si enfin le sol rocheux exige par place l'emploi de la barre à mine, il faut détacher des équipes spéciales assez en avant du chantier pour que la lenteur de leur travail ne soit pas une cause d'arrêt pour le reste de la construction.

Ligne de Thanmoï à Langson.

Le matériel, destiné à cette opération, arriva à Chu le 6 janvier 1886 sur des jonques, et fut aussitôt débarqué et réparti par colis n'excédant pas un poids de 30 kilogrammes, car il devait être entièrement transporté à dos d'hommes, et l'on ne saurait charger davantage un coolie à qui l'on doit demander un service un peu prolongé. Le transport de Chu à Than-moï devait être effectué par les soins de l'autorité militaire, qui entretenait un service régulier de porteurs pour ses mouvements de vivres et de munitions; il n'y avait donc qu'à reconnaître la route en attendant que le matériel fût rendu à destination.

Jusqu'au col de Déo-quan, la route est peu accidentée, et quelques travaux exécutés par le génie militaire ont achevé de la rendre tout à fait praticable aux charrettes; un pont a été jeté sur un ruisseau très encaissé, affluent du Loch-Nam, qui, presque à sec en été, devient torrentueux pendant l'hivernage. A 8 kilomètres de Chu, les pentes du Déo-quan deviennent très rapides. Au delà du col, on redescend le versant nord en serpentant entre une série de mamelons jusqu'à Pho-Cam, premier relai sur la route suivie par la colonne en opérations sur Lang-son. Ces mamelons continuent peu élevés jusqu'à Dong-song, et la route peut être rendue facilement praticable aux voitures. A Dong-song, on rejoint la route mandarine de Phu-lang-thuong à Lang-son, en traversant la chaîne du Déo-van au col du même nom; les deux versants du col sont très escarpés et à peine accessibles aux mulets. Dans toute cette région, comprise entre le Loch-nam et le Song-thuong, les indigènes cultivent seulement les vallées et mettent le feu tous les ans dans les montagnes, afin de se préserver des fièvres causées par la décomposition sur place des végétaux; aussi voit-on très peu d'arbres, les jeunes plants étant détruits à chaque incendie, et cette circonstance ne laissait pas que d'inquiéter, puisqu'on devait se procurer les poteaux sur place.

A Than-moï, le Song-thuong sépare la chaîne du Déo-van d'un massif formé des mêmes roches calcaires qui se rencontrent à la baie d'Along; puis, à 6 kilomètres plus loin, ces roches s'infléchissant vers l'ouest, il coule entre des mamelons argileux. La route, qui jusqu'alors a suivi sa vallée, s'en détache devant le col de Cut, où elle franchit la ligne de faîtes et passe

du bassin tonkinois au bassin de la rivière de Canton; à ce col, comme à celui de Deo-quan, la pente sud est beaucoup plus abrupte que la pente nord. Entre Than-moï et Cut, la route traverse sept fois le Song-thuong, qui prend sa source à l'est dans la chaîne qui sépare la route de Cut de celle de Phovi. A partir de Cut, la route prend une direction nord et suit la vallée d'un affluent du Song-ki-kong que l'on traverse huit fois avant d'arriver aux hauteurs où sont établis les forts commandant Lang-son et la route de Chine : on arrive à Lang-son soit par un sentier assez raide qui descend d'un col situé entre deux de ces forts, soit par la route plus douce que suivent les convois en contournant un mamelon et longeant la citadelle.

Aussitôt cette route reconnue, on se mit en mesure de commencer les travaux; la première chose était de se procurer des poteaux, qui, ainsi qu'on l'a vu, ne peuvent guère être trouvés le long du chemin à suivre. On s'adressa, pour en avoir, au chef du village de Mau, situé à 4 kilomètres de Than-moï; ce village a remplacé un autre centre de population, situé dans la vallée, que les habitants avaient dû abandonner pour se soustraire aux incursions des maraudeurs chinois: aussi le nouveau site répond-il très bien aux besoins de la défense; deux maisons seulement en sont visibles sur le flanc de la chaîne rocheuse. Lorsqu'on les a atteintes, en grimpant le long de deux échelles superposées d'une hauteur totale de 16 mètres, on découvre une sorte de cirque où se dissimule le village. Cette façon de se garantir paraît fort en usage chez les populations muangs du voisinage.

Une partie du matériel étant arrivée à Than-moï le 13, et les premiers poteaux étant également livrés, la

construction commença le lendemain avec quelques coolies muangs recrutés dans le pays, l'autorité militaire n'ayant pu distraire personne de ses transports. C'était là une condition très défavorable, car, outre que ces hommes n'étaient pas habitués au travail qu'on leur demandait, ils ne comprenaient pas l'annamite, et l'on ne savait comment se faire entendre d'eux. Le travail ne marcha donc que très lentement les premiers jours, et l'on n'arriva que le 21 au pied du col de Cut. Là, les derniers poteaux fournis par les villages se trouvaient épuisés, et l'on aurait été dans un grand embarras si l'on n'eût été rejoint par des coolies recrutés dans la région de Lang-son et envoyés sous la conduite d'un petit mandarin connaissant bien les ressources du pays qui restait à traverser : cet utile renfort était envoyé par M. le colonel Crétin, commandant militaire, auquel on avait exposé la double impossibilité d'obtenir un nombre de porteurs suffisant par voie d'engagements individuels, et de continuer le travail avec des moyens de transport aussi restreints.

La construction continua donc ; mais tous les jours il fallait envoyer cinquante à quatre-vingts coolies abattre à 4, 5 et quelquefois 10 kilomètres de la ligne les poteaux nécessaires pour la journée du lendemain; ces hommes ne pouvaient guère être rentrés avant quatre à cinq heures du soir, et, avant leur retour, on ne pouvait être assuré d'avoir de quoi poursuivre le travail. La ligne, longue de 40 kilomètres, put néanmoins être achevée et livrée au service le 27 janvier; elle fut prolongée sur Dong-dang (14^{k},700), du 17 au 23 février, le travail ayant été ralenti cette fois par le manque de fil.

Tous les poteaux que l'on peut se procurer dans

cette région sont d'un bois blanc très tendre, et n'ont pas une durée moyenne de plus d'un an, circonstance d'autant plus fâcheuse quand les frais de transport sont aussi élevés.

Ligne de Hung-Hoa à Lao-kaï.

Pour le début des travaux de cette ligne, il était possible de concentrer quelques approvisionnements de poteaux au point de départ, au poste de Vié-tri, situé au confluent de la rivière Claire et du fleuve Rouge. Mais, par la faute d'un fournisseur, cette ressource fit défaut et l'on dut, dès l'origine, se procurer sur place les bois nécessaires. A cet effet, on pria le Thuan-phu (gouverneur annamite des provinces de Hung-Hoa et Lao-kaï) de prévenir les villages des travaux en cours et de leur donner l'ordre de préparer des poteaux.

La construction commença le 20 mars 1886. De Hung-Hoa, la ligne suit d'abord la route de Tu-my, poste militaire établi sur la rive droite du fleuve à son confluent avec le Song-nma.

Entre ce point et le marché de Hung-Nha (à 6 kilomètres en amont de Hung-Hoa), le fleuve est dévié de sa direction générale par une série de hauteurs, et forme une boucle vers le N.-E., au village de Phu-to. Mais la route, suivant tout le temps la crête de ces hauteurs, était en assez bon état, et les transports n'étaient pas trop pénibles. Le 27, on était à Tu-my. De l'autre côté de Song-nma, la ligne suit la rive droite du fleuve; et comme les villages avaient exécuté les ordres du Thuan-phu relativement aux poteaux, on

put avancer assez vite malgré les premières pluies. Le 1er avril, on était à Van-phu, résidence du Huyen de Cam-khé, à 33k,500 de Hung-Hoa, et le 4 à Ngoi-lao, avec 51 kilomètres de ligne établie. Jusqu'à ce point, le fleuve coule dans une plaine fertile et bien cultivée; le Huyen de Cam-khé est un des plus riches du Tonkin en produits agricoles.

Mais à partir de Ngoi-lao, la vallée se resserre, la route est plus accidentée, et les villages plus rares et plus pauvres se ressentent des incursions des Pavillons-Noirs. Ses habitants, devenus méfiants et craintifs, fournissaient moins volontiers les poteaux, ce qui obligea le chantier à en aller chercher lui-même à une distance souvent assez grande; des élagages importants commencèrent aussi à retarder le travail. On atteignit ainsi Long-Dong-Lam, situé au confluent de deux petites rivières, qui est le dernier village annamite important sur le fleuve Rouge. A Duc-Quan, situé à 15 kilomètres en aval de Than-Quan, le terrain change d'aspect, et les monticules boisés y alternent avec des plaines marécageuses où les roseaux atteignent 5 et 6 mètres de hauteur. Les rizières deviennent rares. Le village de Hoa-Quan a complètement disparu, les habitants s'étant enfuis devant les maraudeurs; de même, à 8 kilomètres avant Than-Quan, des haies régulières de lilas, s'étendant sur une longueur de 800 à 1.000 mètres le long du fleuve, sont le seul vestige d'un autre village. Heureusement, le chantier avait avec lui une réserve de poteaux, qui lui permit de franchir ce passage difficile.

Le 12 avril, on atteignit Goi-phien, village situé sur la rive droite en face de Than-Quan. Le courant y est si violent que, pour pouvoir parer à toute éven-

tualité en cas d'accident à la descente, les canonnières sont obligées de laisser une ancre ou tout au moins une chaîne à la traîne. En outre, souvent des arbres entiers sont charriés par le fleuve; enfin, le fond est dur, les rives accores, et quand on n'aurait pas eu à redouter les deux premières causes d'accidents, la violence du courant aurait suffi pour drosser un câble et le mettre rapidement hors de service. Une communication provisoire, établie avec un fil sous gutta protégé par trois fils de fer de 3 millimètres, dura à peine douze heures. Dans ces conditions, il n'y avait pas lieu d'attendre l'envoi d'un bout de câble assez long pour traverser le fleuve, et il fallait rechercher le moyen de le franchir en ligne aérienne. A 800 mètres en aval du poste, sur la rive gauche, un arbre magnifique, de 1 mètre environ de diamètre à la base et de 30 mètres de haut, pouvait fournir un premier point d'appui; en face on établit un poteau mâté, ce qui permit d'obtenir une hauteur de 22 mètres sur la rive gauche où se trouve le chenal pratiqué par tous les bateaux, et de 13 mètres sur la rive droite. Cette hauteur était suffisante provisoirement, et la communication put être livrée au service le 12 avril; mais on jugea nécessaire d'atteindre aussi sur la rive droite une hauteur de 20 mètres, et à cet effet on demanda au Huyen de fournir des poutres de grandes dimensions. Ce fonctionnaire assura alors, et son dire fut confirmé par les habitants du village, qu'en deux ans on pouvait avoir un arbre de la taille et de la force de celui qui servait de point d'appui sur l'autre rive; et on apporta un arbre épineux, d'un bois tendre et blanc, de 15 mètres de long et de 45 centimètres de diamètre à la base, coupé au ras du sol et complètement ébranché. Cette bouture extraordinaire fut mise

en terre, et deux ans plus tard l'inspecteur qui dirigeait le chantier, repassant par Than-Quan, eut la suprise d'y voir des bourgeons et de jeunes feuilles.

Le 21 avril, le chantier ayant été ravitaillé en matériel de ligne, reprit le chemin de Lao-kaï par la rive gauche du fleuve. On ne rencontre plus que des villages muangs, comprenant au plus vingt à vingt-cinq familles, dont les habitations, dispersées sur une étendue de 8 à 15 kilomètres, se dissimulent au milieu des bois et ne sont accessibles que par d'étroits sentiers; le long du fleuve, on ne voit plus que quelques pagodes depuis longtemps abandonnées et tombant en ruines. La route reste cependant assez praticable jusqu'à Can-Phuc, à 14 kilomètres au-dessus de Than-Quan; elle passe dans des plaines de roseaux, ou sur des mamelons peu boisés. Mais, au delà, le terrain est plus accidenté, et les hauteurs sont couvertes d'une forêt inextricable, où il fallait ouvrir une tranchée de 5 à 6 mètres de largeur; l'abattage était rendu plus difficile encore par les lianes qui liaient tous les arbres ensemble. Les jungles, qui occupaient les parties basses, formées de roseaux, de touffes serrées de bambous et d'arbres isolés, ne donnaient pas moins de peine à cause de leur enchevêtrement. En outre, les ouvriers annamites, marchant pieds nus, se blessaient souvent aux épines ou se coupaient aux feuilles tranchantes des arbres abattus. Telle était l'étendue des coupes à pratiquer que l'on avait dû faire précéder les chantiers d'une équipe de bûcherons plus nombreuse à elle seule que toutes les autres ensemble; et souvent encore ce ne fut pas de trop de tout le personnel réuni pendant deux ou trois jours pour frayer le passage en faisant tomber des portions entières de forêt.

Le 3 mai, on atteignit, près du village de Bau-Dap, à 26 kilomètres de Than-Quan, le premier rapide du fleuve Rouge, Tach-En. Il fallut sept jours pour traverser une forêt de 5 kilomètres, et, à 10 kilomètres au delà, on arrive au deuxième rapide, Tach-Dog, à la suite duquel se trouvent, à courts intervalles, la série qui se termine au plus redoutable de tous, le Tach-Caï, en amont duquel se trouve le poste militaire de Lam, à 62 kilomètres de Than-Quan. Ces rapides sont formés moins encore par la déclivité du sol que par les roches qui embarrassent le lit du fleuve, et forment une sorte de barrage d'une rive à l'autre. On peut les remonter assez facilement avec des barques d'un faible tirant d'eau, quand on peut tirer à la cordelle; mais, si l'escarpement des rives ou la végétation touffue qui les couvre ne permettent plus ce moyen d'avancer, il n'y a d'autre ressource que d'aller en petite barque poser des amarres en avant et de se hâler ainsi, travail très pénible et très lent. C'est au Tach-Bung, à 6 kilomètres en aval de Van-Bau-Chau (Bao-Ha), que l'inspecteur, qui avait eu jusqu'alors la direction des travaux, reçut l'autorisation de rentrer en France, et remit à son successeur la conduite du chantier (22 juin).

Il est toujours difficile de retenir les Annamites sur les chantiers après une certaine durée de travail, pressés qu'ils sont de jouir du bien-être relatif qu'ils peuvent se procurer pendant quelque temps avec ce qu'ils ont gagné. On ne réussit guère à les conserver qu'en ne leur payant leur solde qu'en fin de travaux, et ne leur faisant dans l'intervalle que des avances peu considérables suffisant à satisfaire leurs besoins ou leurs fantaisies journalières. Un point important est

aussi d'éviter les mauvais traitements; les surveillants européens et les soldats d'escorte ne sont pas toujours sans reproche à cet égard. Les ordres les plus formels avaient été donnés pour interdire ce genre de punition; chaque ouvrier indigène était porteur d'un petit morceau de papier avec un numéro d'ordre qui servait à le désigner; les fautes étaient punies par des retenues pécuniaires, dont le montant était fixé par l'inspecteur chef du chantier, et qui étaient inscrites sur le bulletin individuel du coupable. Le produit de ces amendes servait à améliorer l'ordinaire des travailleurs, auxquels on achetait, suivant le cas, un porc, du poisson, etc. Ces distributions inattendues mettaient le camp en fête et soutenaient le moral de tous aux dépens des paresseux.

VALLANCE.

ÉTUDES

SUR LA THÉORIE DU TÉLÉPHONE (*)

Monotéléphone ou résonateur électromagnétique.

Dans une étude précédente sur la théorie du téléphone, je crois avoir démontré que le diaphragme magnétique de cet appareil est animé de deux espèces de mouvements différents qui se superposent. Les uns sont des mouvements de *résonnance*, moléculaires, indépendants de la forme extérieure : ce sont précisément ceux qui permettent au diaphragme de transmettre et de reproduire *tous* les sons, propriété caractéristique qu'il aurait fallu préciser nettement dans le nom même du téléphone en l'appelant *pantéléphone*. Les autres sont des mouvements d'*ensemble* transversaux correspondant au son fondamental et aux harmoniques du diaphragme, et qui dépendent de son élasticité, de sa forme et de sa structure : ceux-là sont nuisibles au point de vue de la transmission nette de la musique et de la parole, car ils altèrent le timbre, leurs harmoniques ne coïncidant que par le plus grand des hasards avec ceux de la voix ou des instruments usuels.

Pour mettre hors de doute l'existence et la superposition de ces deux genres de mouvements, j'ai cherché à faire prédominer les uns ou les autres à volonté

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1886, p. 83 et 166.

dans le même diaphragme. On y parvient à l'aide de la disposition suivante, que j'avais réalisée dès 1881 et que j'ai seulement simplifiée depuis.

On place le diaphragme d'un téléphone quelconque

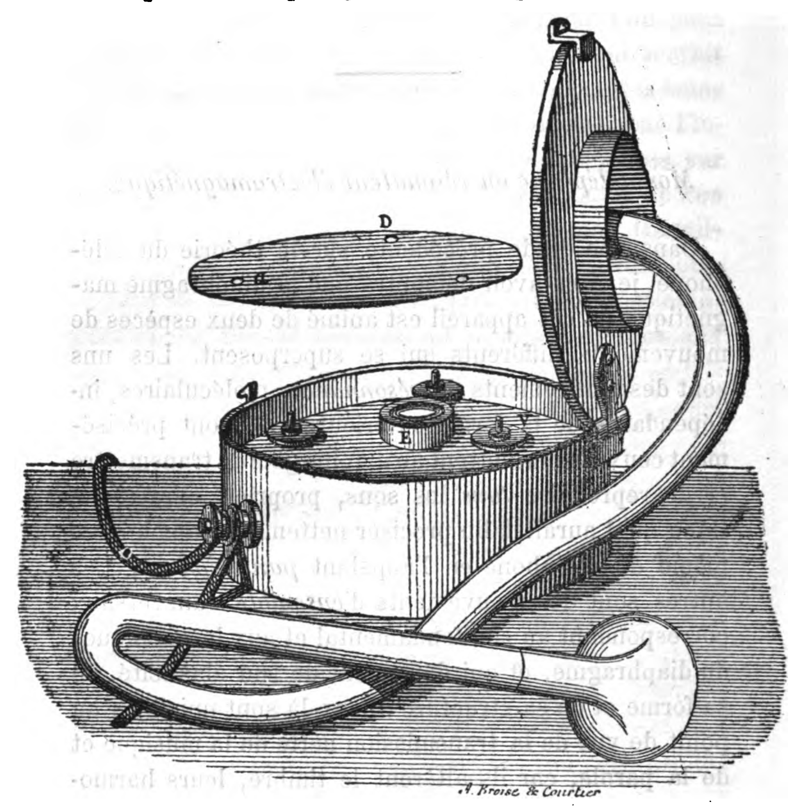


Fig. 1.

dans les conditions les plus favorables pour qu'il puisse vibrer transversalement sans obstacle, et de façon à laisser se produire facilement la division en lignes nodales correspondant à un son donné bien déterminé. Pour cela, au lieu d'*encastrer* le diaphragme sur ses

bords, comme on le fait ordinairement, on le *pose* simplement aussi près que possible du pôle E (*fig.* 1) de l'électro-aimant, sur un nombre de points suffisants d'une ligne nodale.

Si c'est un diaphragme rectangulaire, on le pose sur deux appuis rectilignes coïncidant avec les deux lignes nodales du son fondamental.

Si c'est un diaphragme circulaire D, on perce trois ouvertures *a* de 2 à 3 millimètres de diamètre sur les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans la circonférence qui constitue la ligne nodale du premier harmonique, et l'on pose le disque sur trois pointes V en liège, disposées de la même manière sur un plateau fixe et pénétrant dans les ouvertures.

Cela étant, faisons passer dans la bobine de l'appareil une série de courants d'intensité très faible, de période graduellement décroissante, par exemple provenant de l'émission de sons musicaux devant un transmetteur quelconque téléphonique ou radiophonique. Alors le récepteur téléphonique, modifié comme il est dit ci-dessus, ne vibre, d'une manière appréciable, que sous l'action des courants dont la période est égale à celle du son correspondant à la nodale sur laquelle repose le diaphragme, son que j'appellerai *particulier* ou *spécial :* il ne reproduit plus une série *continue* de sons de hauteur graduellement croissante, indifféremment et avec la même intensité, comme le téléphone ordinaire; il n'en reproduit énergiquement qu'*un seul ;* il n'est plus *pantéléphonique*, il est *monotéléphonique ;* on peut donc l'appeler *monotéléphone*.

Ce résultat n'est pas absolu. En réalité, le diaphragme fait entendre quelques sous-harmoniques du son *spécial* correspondant à la ligne nodale fixée; mais

leur intensité est relativement très faible. De plus, le diaphragme reproduit des sons de période un peu inférieure ou supérieure à celle du son *spécial*, mais l'intervalle extrême entre ces sons est assez petit et n'excède généralement pas un ou deux comas.

Ces réserves sont de la même nature que celles qu'on doit faire au sujet des *résonnateurs* en acoustique. Du reste, le rôle d'*analyseur*, que le monotéléphone joue par rapport à ce qu'on peut appeler les ondes électromagnétiques, est analogue à celui que joue un résonnateur par rapport aux ondes sonores : si on leur communique en effet une série d'ondes successives ou simultanées de périodes différentes, chacun d'eux choisit en quelque sorte celle du son spécial qui correspond à sa forme géométrique et aux conditions dans lesquelles il est placé, et la renforce énergiquement.

Le monotéléphone peut donc s'appeler aussi bien *résonnateur électromagnétique.*

Dans le dispositif qu'on vient de décrire, les mouvements transversaux prédominent, et il est aisé de voir l'effet qu'ils peuvent avoir dans un téléphone ordinaire ; car si l'on essaye de faire reproduire par un monotéléphone la parole articulée émise dans un transmetteur, ou bien on n'entend à peu près rien si le son *spécial* de l'appareil est hors de l'échelle où se meut la voix humaine (de l'ut_2 à l'ut_4), ou bien, dans le cas contraire, on n'entend que des sons d'un timbre modifié et des articulations émoussées, le tout noyé en quelque sorte dans la sonorité du son spécial, toutes les fois qu'il se fait entendre.

Mais il est très facile de produire l'effet inverse, de faire prédominer les mouvements moléculaires de ré-

sonnance sur les transversaux, de rendre au monotéléphone le rôle pantéléphonique, de lui faire reproduire tous les sons avec la même intensité et la parole articulée avec netteté.

Il suffit pour cela de mettre obstacle aux vibrations transversales d'ensemble, en fixant légèrement les bords ou plusieurs points du diaphragme, par exemple en y appuyant convenablement les doigts.

Le moyen le plus simple de faire l'expérience est le suivant. On reçoit dans le monotéléphone des sons différents successifs ou simultanés, parmi lesquels se trouve le son *spécial* ou des paroles articulées à peu près à la hauteur de ce son. On approche l'oreille du diaphragme : tant qu'elle en est à une certaine distance ou qu'elle l'effleure tout au plus, on entend seulement le son spécial; mais si l'on appuie de plus en plus l'oreille sur le diaphragme, le son spécial s'affaiblit peu à peu, et l'on finit par entendre tous les sons avec une égale intensité, ainsi que la parole articulée sans altération sensible du timbre. Par cette seule opération très simple, on a rendu au mouvement de résonnance la prédominance sur les transversaux et à l'appareil la propriété pantéléphonique que possède le téléphone ordinaire à diaphragme encastré.

Je reviendrai sur la construction du résonnateur électromagnétique et sur ses applications.

E. MERCADIER.



ACTION D'UN CHAMP ÉLECTROSTATIQUE

SUR UN COURANT VARIABLE (*).

Lorsque l'intensité d'un champ magnétique vient à varier, un conducteur fermé, placé dans ce champ, est traversé par des courants induits, et, d'une manière générale, en chaque point de l'espace prend naissance une force électrique (ou force électromotrice induite par unité de longueur) que l'on sait calculer. En d'autres termes, les variations du champ magnétique développent un véritable champ électrostatique, qui doit exercer une action mécanique sur les corps électrisés. En vertu du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, ceux-ci doivent réagir sur les aimants ou les courants variables auxquels est dû le champ magnétique.

Considérons, par exemple, un aimant infiniment court dont le moment $\mathfrak{M}$ varie de $d\mathfrak{M}$ dans le temps dt. La force électrique E induite par cette variation en un point situé à la distance r est, comme on sait, perpendiculaire au plan du rayon vecteur r et de la direction $d\mathfrak{M}$ et égale à

$$E = \frac{d\mathfrak{M}}{dt}\frac{\sin\theta}{r^2},$$

θ désignant l'angle du rayon r et de la direction $d\mathfrak{M}$. Si, au point où existe cette force électrique, se trouve

(*) *Comptes rendus*, 6 juin 1887.

une charge q d'électricité, elle subit une force mécanique égale à

$$F = Eq = \frac{q}{r^2}\frac{d\mathfrak{M}}{dt}\sin\theta = \frac{1}{k} f \frac{d\mathfrak{M}}{dt}\sin\theta,$$

f désignant la force électrostatique k $\frac{q}{r^2}$ développée par la charge q au point où se trouve l'aimant $\mathfrak{M}$ (loi fondamentale d'électrostatique).

Cette force F, prise en sens contraire, n'est autre chose que la réaction du champ électrostatique dû à q sur l'aimant variable. Elle est perpendiculaire au plan des directions f et $\frac{d\mathfrak{M}}{dt}$, et égale, au facteur $\frac{1}{k}$ près, à l'aire du parallélogramme construit sur f et $\frac{d\mathfrak{M}}{dt}$ comme côtés. Elle s'obtient donc par la même règle que l'action d'une force magnétique f sur un élément de courant i de longueur ds dirigé suivant $\frac{d\mathfrak{M}}{dt}$ et tel que l'on ait $ids = \frac{d\mathfrak{M}}{dt}$. Seulement, pour un observateur placé le long de $\frac{d\mathfrak{M}}{dt}$ et regardant dans le sens de f, la poussée F a lieu vers sa droite, tandis que la poussée sur le courant ids aurait lieu vers sa gauche. Si, au lieu d'une seule charge q, on en avait un nombre quelconque, f désignant la force électrostatique résultante, la force mécanique F serait encore donnée par la même règle.

Remplaçons l'aimant par un courant équivalent, c'est-à-dire tel que l'on ait $\mathfrak{M} = \frac{Si}{k'}$, S désignant la surface embrassée par le courant et k' le coefficient de la

formule fondamentale de magnétisme (analogue à k). On voit que l'action exercée par le champ électrostatique sur le courant, lorsque l'intensité i varie, est donnée par la formule

$$F = \frac{1}{kk'} f S \frac{di}{dt} \sin\theta.$$

Elle est normale à f, ainsi qu'à l'axe du courant, et, par suite, est située dans le plan du courant i.

Le produit kk' est, quel que soit le système d'unités adopté, le carré d'une vitesse a, dont la valeur numérique est, dans le cas de l'air, 3×10^{10} centimètres par seconde. Si donc on suppose la force f parallèle au plan du courant $\left(\theta = \frac{\pi}{2}\right)$, l'impulsion totale subie par le circuit, lorsque l'intensité croît de 0 à i, est

$$\int F dt = \frac{1}{a^2} f S i.$$

Pour un solénoïde droit, de longueur l, contenant N spires par unité de longueur, l'action serait multipliée par Nl.

Dans le cas où le champ électrostatique serait celui qui existe entre deux plateaux parallèles, situés à la distance e et chargés à la différence de potentiel V, on aurait

$$f = \frac{V}{e} \quad \text{et} \quad \int F dt = \frac{VNlSi}{a^2 e}.$$

On peut donc se rendre compte de la grandeur de cette impulsion; elle est, en général, très minime, comme on peut s'en convaincre par des exemples numériques.

D'après ce que nous venons de voir, lorsque deux courants variables i et i' se trouvent en présence, les

variations de l'un donnent naissance à un champ électrostatique qui agit sur l'autre. Ainsi, deux solénoïdes fermés, qui n'agissent pas l'un sur l'autre lorsque les courants sont fixes, s'influenceront dans l'état variable. Cette action est d'ailleurs excessivement faible. On peut la calculer exactement comme l'on calcule l'action de deux courants l'un sur l'autre. Par exemple, un solénoïde de section S_1, contenant N_1 spires par unité de longueur, équivaut à un aimant dont le moment est $\frac{N_1 S_1 i_1}{k'}$ par unité de longueur : soit $\frac{N_1 S_1 i_1}{k'} ds = \mathfrak{M}$ pour une longueur ds ; et l'action de cet aimant se calculant comme celle d'un élément de courant $ids = \frac{d\mathfrak{M}}{dt}$, ainsi qu'on l'a vu plus haut, l'action réciproque des deux solénoïdes $(N_1 S_1 i_1,\ N_2 S_2 i_2)$ se calculera comme celle de deux courants d'intensité $\frac{N_1 S_1}{k'} \frac{di_1}{dt}$ et $\frac{N_2 S_2}{k'} \frac{di_2}{dt}$, qui circuleraient le long des axes des solénoïdes.

En ce qui concerne l'action réciproque de deux aimants ou courants variables, M. O. Hertz avait émis déjà l'opinion que les solénoïdes fermés doivent agir l'un sur l'autre pendant la période variable (*Wiedemann's Annalen* et *Journal de physique*, p. 482, 1885).

VASCHY.

SUR LA NATURE

DES PHÉNOMÈNES ÉLECTROCAPILLAIRES (*)

On sait que la tension superficielle A de deux liquides au contact est liée à leur différence de potentiel x par la relation

$$(1) \qquad -\frac{d^2A}{dx^2} = C,$$

C désignant la capacité de polarisation voltaïque de la surface de contact, comme l'a montré M. Lippmann, grâce à certaines hypothèses. C étant constant dans d'assez larges limites, la relation (1) donne par intégration

$$(2) \qquad A = A_m - \frac{1}{2}C(x - x_0)^2,$$

A et x_0 étant des constantes. On interprète cette formule en admettant que $(x - x_0)$ représente la différence vraie de potentiel V au contact, et que A_m est la tension superficielle due aux actions moléculaires, les actions électriques ayant pour effet de la réduire de la valeur

$$(3) \qquad \frac{1}{2}CV^2 = -A_e,$$

On peut retrouver ces résultats par la méthode suivante. Soient deux feuillets magnétiques S_1 et S_2 tels, que la variation brusque de potentiel existant à la sur-

(*) *Comptes rendus,* 4 juillet 1887.

face de chacun d'eux soit égale à V. Leur action réciproque se calculera comme celle de deux courants d'intensité $i = \frac{V}{4\pi}$, qui suivraient leurs contours dans le sens indiqué par la règle d'Ampère. Cette action est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à V^2, que les feuillets soient constitués par des couches magnétiques réelles, ou que la variation V du potentiel soit due à toute autre cause. Cela est vrai à la limite lorsque les contours Σ_1 et Σ_2 se rapprochent indéfiniment et viennent se confondre en un seul Σ, les feuillets S_1 et S_2 formant ainsi deux parties contiguës et raccordées d'un feuillet unique S. Comme, d'après les règles d'Ampère, les courants $i = \frac{V}{4\pi}$, infiniment rapprochés, sont de sens contraires, ils se repoussent. Il en résulte que deux parties contiguës d'une surface S, sur laquelle existe une variation brusque de potentiel V, exercent l'une sur l'autre une répulsion qui, par unité de longueur de la ligne de séparation Σ, sera de la forme $\frac{1}{2}CV^2$, C étant une constante aux divers points de la surface si l'état de celle-ci est uniforme. Ceci s'appliquera évidemment au cas où V est une différence de potentiel électrique et où S est la surface de contact de deux corps quelconques.

On peut aller plus loin et calculer le coefficient C en introduisant une hypothèse, savoir que la surface S possède une épaisseur ε extrêmement faible et que la variation V de potentiel se produit d'une manière continue et uniforme dans l'épaisseur ε. On trouve alors $C = \frac{1}{8\pi k \varepsilon}$, k désignant le coefficient de la formule

fondamentale d'électrostatique; et C ne serait autre chose que la capacité de polarisation voltaïque.

L'hypothèse précédente revient du reste à considérer les deux corps au contact comme formant un condensateur, dont la lame diélectrique aurait une épaisseur ε. Si l'on considère, sur les deux corps respectivement, les bases σ et σ' d'un tube de force, soumises aux pressions électriques opposées $p\sigma$ et $p'\sigma'$, l'ensemble de ces deux éléments subira une poussée égale à $(p\sigma - p'\sigma')$ dans le sens de σ vers σ', c'est-à-dire vers la convexité de la surface de contact, si $\sigma' > \sigma$. La courbure de la surface étant $\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$, on trouve, tous calculs faits, pour la poussée par unité de surface, en remarquant que $p\sigma^2$ est égal à $p'\sigma'^2$,

$$\frac{p\sigma - p'\sigma'}{\sigma} = p\varepsilon\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) = \frac{V^2}{8\pi K\varepsilon}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

On conclut de là, par une démonstration connue, l'existence d'une tension superficielle négative égale à

$$A_e = -\frac{V^2}{8\pi K\varepsilon} = -\frac{1}{2}CV^2,$$

ce qui confirme le résultat trouvé plus haut.

La considération de l'épaisseur ε, quoique hypothétique, s'impose par raison de continuité, la variation V ne devant pas être absolument brusque. L'expérience montre que ε varie peu avec V, malgré les énormes pressions électrostatiques qui attirent les deux corps l'un vers l'autre (exemple : $\varepsilon = \frac{1^{mm}}{34\,000\,000}$, $p = 52\,000^{atm}$ pour $V = 1^{volt}$). Toutefois, il n'y a pas de raison pour que l'épaisseur ε soit uniforme; au con-

traire, elle doit être irrégulière, en raison de la discontinuité des molécules.

En s'affranchissant de l'hypothèse de l'uniformité de l'épaisseur ε, on arrive à un résultat remarquablement simple. Considérons un tube de force limité, comme précédemment, aux bases σ et σ'. Dans la théorie des actions de proche en proche, ce tube ne subit sur ses bases aucune action de la part des corps conducteurs, dont les potentiels sont constants ; mais il est soumis sur ses faces latérales à une pression, que nous désignerons par P par unité de longueur du périmètre de base. Cette pression ou répulsion est exercée par les tubes de force contigus, suivant les idées de Faraday et de Maxwell. La tension superficielle négative A_o, due à la différence de potentiel de deux corps au contact, ne serait donc autre chose que la pression transversale développée dans le diélectrique interposé entre les deux corps. Si ε était constant, on retrouverait la formule

$$P = \frac{V^2}{8\pi k\varepsilon}.$$

VASCHY.

NOTE SUR LA TÉLÉGRAPHIE OPTIQUE.

Les appareils adoptés pour la télégraphie optique de campagne ont pour but principal de donner un faisceau de rayons parallèles, la source lumineuse étant, à cet effet, placée au foyer de l'objectif.

Les deux questions les plus importantes à résoudre étaient les suivantes :

1° Avoir des appareils résistants et aussi légers que possible ;

2° Réduire le champ de l'instrument, de manière à obtenir le maximum d'intensité lumineuse, et à éviter la surprise des dépêches par l'ennemi.

La première condition est parfaitement réalisée par l'emploi de lentilles à courte distance focale, qui permettent d'avoir des appareils courts et facilement transportables.

Pour arriver à réduire le champ, on a employé comme source lumineuse une lampe à pétrole à mèche plate, présentant sa tranche à l'objectif. Le champ ainsi obtenu, nécessairement très développé dans le sens vertical, l'est peu dans le sens horizontal, à cause de la faible dimension horizontale de la source lumineuse. Toutefois, malgré cette précaution, il est établi que le champ de ces instruments a pour valeur un angle double de celui qui a pour tangente 1/10e, de telle sorte qu'à une distance de 1 kilomètre, un observateur, placé à 100 mètres en travers de l'optique, peut

lire la transmission, et que, si les correspondances sont échangées à une distance de 5 kilomètres, tout observateur, placé à moins de 500 mètres du poste de réception pourra recevoir les signaux.

Il est clair que si, comme cela arrive le plus souvent, l'axe optique n'est pas exactement dirigé sur le correspondant, les évaluations précédentes seront même au-dessous de la vérité.

Dans l'état actuel des choses, le secret des dépêches à transmettre par les appareils optiques de campagne paraît donc extrêmement difficile à garder, étant donné surtout qu'il arrivera souvent, en campagne, qu'on ne pourra se servir du langage chiffré.

Il est donc naturel de chercher à améliorer, autant que possible, la sécurité des dépêches; l'emploi de la lumière polarisée, sans donner une solution parfaite, diminuerait notablement les chances de surprise.

La transmission repose sur la production, par un obturateur, d'éclipses de longueurs différentes destinées à figurer les signaux Morse.

Si on se sert de lumière polarisée reçue par le correspondant dans un analyseur, on peut supprimer l'obturateur, et il suffit, pour obtenir les éclipses, de faire tourner le polariseur de 90° autour de l'axe optique, l'analyseur ayant été primitivement placé de manière à laisser passer tout le faisceau lumineux.

Dès lors, ce faisceau aura une intensité constante pour toute personne, non munie d'un analyseur, et qui n'apercevra alors qu'un point lumineux fixe.

Le correspondant, au contraire, par l'emploi de son analyseur, distinguera la transmission aussi bien que s'il s'agissait de lumière naturelle interceptée périodiquement par un obturateur.

Il devient donc indispensable d'avoir un analyseur pour lire, et il est clair que cette nécessité augmente sensiblement les chances de sécurité des dépêches, étant donné surtout le danger auquel s'exposerait tout individu trouvé, en temps de guerre, porteur d'un analyseur.

Le polariseur serait placé entre la source lumineuse et l'objectif; la rotation serait produite par une poulie manœuvrée au moyen d'un levier. La manipulation serait la même qu'avec l'appareil actuel. L'analyseur pourrait être installé dans une lunette placée à la gauche de l'appareil, symétriquement à la lunette de réglage.

L'appareil ne subirait qu'une faible transformation et conserverait son mécanisme actuel, permettant, à un moment donné, d'utiliser la lumière naturelle si, pour une raison quelconque, l'emploi de la lumière polarisée devenait impossible.

Par ce procédé, et contrairement à ce qui se passe aujourd'hui, l'appareil du poste qui reçoit resterait sur feu fixe pendant la réception, pour un observateur non muni de l'analyseur. Si donc le poste de réception est surpris par l'ennemi et enlevé, le poste qui transmet s'en apercevra immédiatement par la disparition du feu de son correspondant et cessera sa transmission, qui serait reçue par l'ennemi.

A la suite d'informations prises pour me rendre compte de la possibilité de réaliser cette idée, j'ai appris qu'on avait fait, en 1871, des essais, en partant du même principe, et que la diminution d'intensité lumineuse due à la polarisation avait empêché cette tentative d'aboutir.

Aucune publication n'ayant été faite sur ces essais,

je me suis déterminé à exposer succinctement ce procédé (*) dont la mise en pratique pourra être permise quand on trouvera une source lumineuse facilement transportable, et dont le pouvoir éclairant soit suffisamment grand.

Rennes, 16 janvier 1887.

E. BOUCHARD.

Sous-ingénieur des télégraphes.

(*) En même temps que M. Bouchard envoyait la communication ci-dessus, M. Raynaud signalait le même artifice dans le *Dictionnaire encyclopédique et biographique de l'Industrie et des Arts industriels* (V. le mot *Télégraphe*).

NOTE SUR UN COUP DE FOUDRE.

Le 24 avril 1887, à Mortrée (Orne), éclata, entre trois et sept heures du soir, un orage d'ouest-sud-ouest d'une extrême violence, qui donna naissance à une série de phénomènes assez curieux.

Le fil télégraphique, à 1 kilomètre du bourg, sur la route d'Argentan, fut haché sur une longueur de 150 mètres environ. Les morceaux étaient tellement calcinés qu'ils semblaient avoir été soumis au feu d'une forge. Certains d'entre eux, un peu plus longs que les autres, furent pliés et leurs branches soudées entre elles.

Ni les poteaux, ni les isolateurs n'ont été endommagés.

Bien que la ligne ne soit qu'à 2 mètres à peine des grands ormeaux (*) qui bordent la route, ceux-ci ont été également épargnés. L'un d'eux, cependant, présentait des écorchures sur l'écorce du tronc ; en outre, la terre, autour des racines, était labourée et comme trouée avec le bout d'une canne (**).

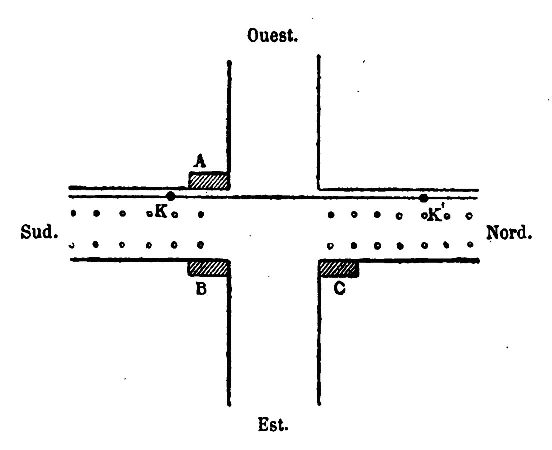
Au bureau du télégraphe, la receveuse avait mis son paratonnerre à la terre. Malgré cette précaution, il se produisit dans la pile une décharge accompagnée d'une vive lumière, et comparable à une détonation

(*) Ces arbres ont une hauteur double de celle des poteaux, soit 10 mètres environ.

(**) Avant l'orage, le sol, de nature argileuse, était plutôt sec qu'humide

d'arme à feu, mais qui, d'ailleurs, n'occasionna aucun dérangement.

La section de conducteur détruite, KK', était située, comme le montre la figure ci-dessous, à la croisée de deux chemins (*). En face du point de rupture K, la foudre pénétra par la cheminée dans la maison A, et



sortit dans la rue en perçant un mur en briques de trois trous, au ras du sol. Durant ce trajet, elle déplaça une chaufferette. La maçonnerie perforée était couverte de plâtre extérieurement; de nombreux morceaux de cet enduit furent détachés, puis projetés de l'autre côté de la route contre un carreau de la maison B.

Derrière cette habitation, une personne était dans une étable et se disposait à traire une vache. Une boule de feu entre par la porte, passe entre les jambes de l'animal, et disparaît sans laisser de traces, et sans causer de dégâts. La vache mugit affreusement et,

(*) La ligne KK' est dans la direction sud-nord.

sous l'influence de la peur ou d'une commotion, elle se dressa sur les pattes de derrière et engagea celles de devant dans les barreaux du râtelier. Quant à son maître, il abandonna seau, lait et le reste, et vint presque s'évanouir dans les bras de sa famille. Il n'avait d'ailleurs aucun mal.

Il me reste à signaler un dernier phénomène. Il s'agit de fragments de pierres incandescentes qui tombèrent en assez grande quantité devant la maison C, au moment précis où avaient lieu les effets décrits ci-dessus. Quelques-uns de ces fragments, gros au plus comme une noix, sont d'une matière très peu dense, d'un blanc grisâtre et qui s'écrase facilement sous le doigt en dégageant une odeur de soufre bien caractérisée. Les autres, plus petits, ont tout à fait l'aspect du coke.

Il n'est peut-être pas inutile de dire que, pendant cet orage, les coups de tonnerre n'étaient pas précédés des roulements habituels ; ils éclataient brusquement comme des décharges de mousqueterie et se succédaient à de courts intervalles. La pluie, mêlée de grêle, est tombée en abondance dès le début de la tempête, et la température était fort basse.

H. Villeneuve.

SUR UN

NOUVEAU MODÈLE D'ÉLECTROMÈTRE (*)

par M. J. CARPENTIER.

J'ai l'honneur de présenter à l'Académie un électromètre de forme nouvelle.

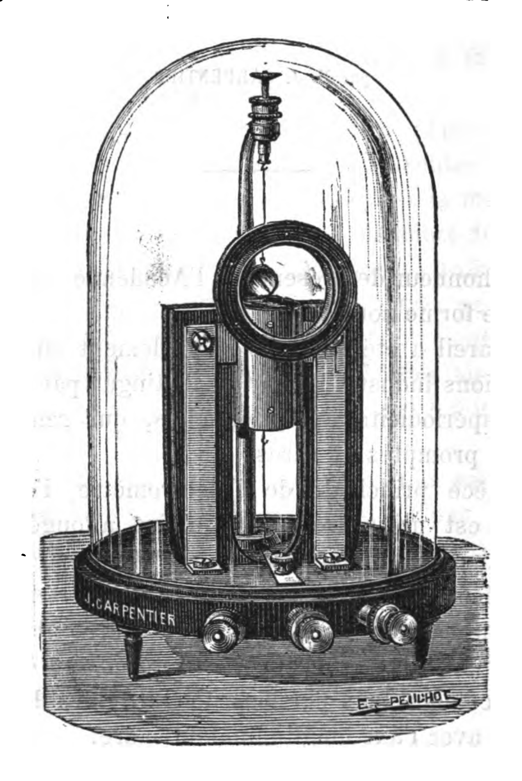
L'appareil a été combiné spécialement en vue des applications industrielles, et se distingue par des qualités d'apériodicité exceptionnelles, qui rendent les lectures promptes et sûres.

La pièce principale de l'électromètre, l'armature mobile, est un cadre rectangulaire allongé; formé d'une lame métallique, large de $0^m,01$ environ, qui a été repliée sur elle-même et dont les extrémités ont été raboutées. Les grands côtés du cadre ont reçu, en outre, une courbure transversale et peuvent être considérés comme deux portions d'un cylindre dont l'axe coïncide avec l'axe longitudinal du cadre.

Le cadre est suspendu de manière à être mobile autour de son axe, entre deux autres cylindres fixes, concentriques, l'un de diamètre plus grand, l'autre de diamètre plus petit que lui. Chacun de ces deux cylindres est divisé, suivant deux plans rectangulaires passant par l'axe commun, en quatre portions égales, constituant à l'électromètre huit armatures fixes entre

(*) *Comptes rendus*, 13 juin 1887. Note présentée par M. Mascart.

lesquelles tourne le cadre ou armature mobile. Le montage des armatures fixes est tel que quatre armatures, comprises dans deux dièdres droits, opposés par



le sommet, communiquent électriquement entre elles et sont isolées des quatre autres.

Dans l'un des modèles présentés, le cadre est horizontal et monté sur couteaux. L'équilibre de torsion des fils dans le premier, l'action de la pesanteur, dans le second, maintiennent le cadre, quand aucune action électrique ne s'exerce, dans une position qui correspond au zéro de la graduation. Dans cette position, le

cadre est à peu près symétriquement placé par rapport aux plans de séparation des armatures fixes.

L'appareil, réduit aux pièces que je viens d'énumérer, se trouve dans des conditions analogues à celles qui sont réalisées dans l'électromètre Thomson, et on peut l'employer en appliquant les méthodes applicables à ce dernier, notamment celle qui comporte l'adjonction d'une pile de charge comme l'a proposé M. Mascart.

Je n'insisterai donc ni sur sa mise en expérience, ni sur son mode de fonctionnement, et je terminerai ma description en signalant les points qui constituent la nouveauté du modèle.

Grâce au petit diamètre des armatures fixes extérieures, l'électromètre a pu être introduit entre les jambes d'un aimant permanent ordinaire en fer à cheval, c'est-à-dire dans un champ magnétique assez intense; de plus, en raison de la position qu'occupent les armatures fixes intérieures, elles ont été faites en fer, pour accroître encore l'intensité magnétique dans l'intervalle où se meut l'armature mobile. Ces dispositions, jointes à la forme donnée à cette armature, concourent à faire naître dans les deux branches du cadre des forces électromotrices d'induction énergiques, qui s'ajoutent et produisent un amortissement très rapide.

En fait, cet électromètre est d'une apériodicité remarquable, et, quand il fonctionne, on est frappé de l'allure particulière avec laquelle l'index s'avance vers le point qu'il doit atteindre, et qu'il ne dépasse pas.

CHRONIQUE.

Sur un mélographe.

Note de M. J. Carpentier, présentée par M. Mascart.

Les appareils que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie ont été imaginés et réalisés pour donner une solution au problème de la fixation des improvisations musicales.

Ils s'appliquent aux instruments à clavier.

L'un d'eux, le mélographe, est destiné à conserver les traces de tous les mouvements imprimés aux diverses touches d'un clavier pendant l'exécution d'un morceau, afin de n'altérer en rien les formes et la construction des pianos ou orgues auxquels il s'annexe; il constitue un appareil entièrement indépendant, simplement mis en relation avec le clavier par un faisceau de fils métalliques, dont chacun correspond à une touche, et à travers lesquels l'électricité sert d'agent de transmission.

Étant donnée la nature du phénomène à enregistrer, c'est-à-dire l'abaissement d'une touche et le mode de transmission adopté, l'électricité, le problème se trouve naturellement ramené a une question de chronographie que résout complètement le télégraphe Morse. Aussi ne saurait-on mieux comparer le mélographe qu'à un télégraphe Morse multiple, et ne saurait-on mieux en concevoir les dispositions et le fonctionnement qu'en se reportant à ce télégraphe que tout le monde connaît.

Le mélographe fournit des inscriptions à l'encre sur une bande continue de papier. Cette bande large doit être idéalement considérée comme la réunion d'un certain nombre de bandes étroites dont chacune est réservée à une touche du clavier. Une des principales difficultés à vaincre dans la réalisation du mélographe a été de réduire à un minimum la largeur des bandes élémentaires, tout en conservant aux

organes ainsi resserrés une entière sûreté de fonctionnement. Dans le modèle présenté, chaque bande élémentaire ne présente que 3 millimètres.

Le mélographe comporte trois parties.

La première partie est le transmetteur. Le transmetteur se place sous les touches du clavier dans un intervalle restreint, mais suffisant, qui se trouve dans tous les modèles de pianos. Il est réalisé sous la forme d'une règle en bois portant une série de lames flexibles, dont chacune prend place sous une touche, et qui, s'abaissant et se relevant en même temps que la touche, établit un courant d'autant plus prolongé que la touche est elle-même tenue plus longtemps enfoncée.

La deuxième partie est le moteur destiné à opérer l'entraînement continu et régulier de la bande sur laquelle se fait l'inscription. Dans le modèle présenté, le moteur est électrique et actionné par de petits accumulateurs. Ce qui le particularise, ce sont ses organes régulateurs. Un volant, tout d'abord d'apparence exagérément massive, eu égard à la vitesse dont il est animé et au travail insignifiant qui se dépense dans l'appareil, rend absolument négligeables les perturbations de vitesse que tendrait à produire l'entrée en ligne d'un nombre quelconque d'organes traceurs. Un régulateur interrupteur de courant, d'autre part, dont la description sort du cadre de cette note, assure l'immutabilité de la vitesse de régime, non seulement dans le cours d'une expérience, mais même d'une expérience à l'autre, à quelque intervalle qu'elles se succèdent. Cette vitesse a été expérimentalement fixée pour correspondre à un débit de papier de 3 mètres par minute.

La troisième partie dont se compose le mélographe est le récepteur, comprenant l'ensemble des organes d'inscription. Au-dessus de la bande de papier, dans une cage vitrée, un cylindre à gorges peut être considéré comme la réunion d'une série de molettes qui, constamment encrées par un tampon cylindrique placé à la partie supérieure et enduit d'encre oléique, représentent comme autant d'encriers toujours prêts à déposer sur le papier les traces visibles des signaux transmis.

Au-dessous de la bande, une série de styles placés verticalement, chacun en regard d'une molette, sont actionnés chacun par un électro-aimant spécial, et, soulevant le papier dès qu'ils

en reçoivent l'ordre, l'appliquent, aux moments voulus, contre les molettes encrées. Ce récepteur, qui, à proprement parler, constitue le mélographe, contient plusieurs dispositions accessoires fort importantes, sur lesquelles il serait trop long d'insister, et que je me contente de signaler. Telles sont la disposition des galets moletés qui saisissent le papier par les bords pour l'entraîner et la disposition du débrayage, qui permet d'engager ou de suspendre l'action de ces galets; la disposition qui imprime au tampon encreur un mouvement lent de va-et-vient longitudinal; la disposition à l'aide de laquelle sont tenus écartés l'un de l'autre le tampon encreur et le cylindre à gorge quand l'appareil ne fonctionne pas, afin d'éviter les encrassements; la disposition du peigne, invisible de l'extérieur, dont le rôle est de limiter l'action de chaque style à la région du papier qui lui est réservée; enfin, la disposition des différents réglages au moyen desquels on amène l'inscription à une netteté irréprochable.

L'appareil est d'un maniement très simple et ne se dérange point; le modèle présenté a fonctionné, depuis plus d'une année, presque chaque jour, sans accroc. Il semble donc résoudre entièrement le problème de la mélographie.

En fait, il ne la résout qu'à moitié; je demanderai la permission de revenir sur la seconde partie de la question.

(*Comptes rendus*, 31 mai 1887.)

Sur un pendule électrique.

Note de M. J. Carpentier, présentée par M. Mascart.

J'ai l'honneur de présenter à l'Académie un pendule entretenu électriquement, d'après un système nouveau.

Entretenir un pendule, c'est lui restituer, au fur et à mesure qu'il la perd, l'énergie qu'absorbent les frottements dans l'air et les résistances de la suspension, de manière à maintenir constante l'amplitude de ses oscillations; l'entretenir électriquement, c'est demander à une source électrique l'énergie d'emprunt.

Pour transmettre à un pendule chaque dose d'énergie res-

tituée, il faut adopter un moyen qui ait le moins possible d'influence perturbatrice sur la loi de son mouvement et dont l'action soit indépendante de l'intensité du courant électrique employé.

Le moyen auquel je me suis arrêté, et qui paraît bien remplir les conditions imposées, consiste à déplacer périodiquement, d'une petite quantité, le point de suspension du pendule, horizontalement et dans le plan des oscillations.

A cet effet, la tige du pendule est suspendue par l'intermédiaire d'une feuille d'acier très mince et très souple, formant articulation, à l'armature mobile d'une sorte de relais polarisé, faisant parti du bâti même du pendule. La forme du relais n'a qu'une importance secondaire, et je ne m'arrête point à la décrire. Le point essentiel est que, sous l'influence d'un courant électrique périodiquement inversé, l'armature du relais oscille entre deux butées dont on peut réduire à volonté l'écartement, et entraîne le point de suspension du pendule tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, ce qui suffit à maintenir constante l'amplitude des oscillations.

Ce mode d'entretien n'est, au fond, que l'imitation de ce que l'on est conduit à faire, quand, tenant à la main un cordon à l'extrémité duquel est suspendu un corps lourd, on cherche à faire naître ou à conserver les oscillations de ce pendule improvisé.

Ce qu'il faut noter, en ce qui concerne mon appareil, c'est que le déplacement du point de suspension a lieu perpendiculairement à l'action de la pesanteur et que sa grandeur ne dépend pas de l'intensité du courant qui actionne le relais.

L'inversion périodique du courant résulte de la manœuvre d'un commutateur installé sur la planche qui sert de bâti au pendule, manœuvre qui est commandée par le pendule lui-même. Là se rencontre la seconde particularité qui caractérise le système : la manœuvre du commutateur est due à l'action réciproque qui s'exerce à distance entre un petit aimant fixé à la tige du pendule, et entraîné dans son mouvement, et une pièce de fer appartenant au commutateur. Cette dernière pièce a la forme d'un arc de cercle dont le centre coïncide avec l'axe de suspension du pendule ; aussi l'aimant porté par le pendule se meut-il en face d'elle sans que la petite distance qui les

sépare varie. L'arc en fer est monté, en son milieu, sur un tourillon placé dans le plan de symétrie de l'appareil, et, tandis que le point d'application de l'attraction qu'il subit de l'aimant passe alternativement de part et d'autre de l'articulation, la pièce exécute une série de mouvements de bascule synchroniques avec ceux du pendule. Ces mouvements, limités par des butées, sont réduits à être imperceptibles, mais suffisent, par des changements de contact, à provoquer l'inversion du courant.

Quant à la réaction que subit le pendule, il est évident que, sensiblement normale à l'arc de fer du commutateur, elle passe par la suspension, qui est un point fixe, et que son influence est ainsi presque éliminée.

Ainsi qu'on le voit, mon pendule s'entretient, tout en restant dans l'espace libre de tout lien matériel avec les corps extérieurs. Il n'existe qu'une connexion magnétique entre lui et le commutateur. Cette connexion absorbe une certaine quantité d'énergie sans doute ; mais la perte, de ce chef, est réellement négligeable vis-à-vis des frottements dans l'air et des résistances de la suspension. Dans les systèmes où la commutation se fait par des organes mécaniques, c'est l'inverse qui a lieu, et le fonctionnement de ces organes est la cause dominante d'amortissement, de telle sorte qu'en définitive les pendules de ces systèmes exigent, à chaque oscillation, une restitution d'énergie beaucoup plus grande que le mien. Or, si cette restitution peut être une cause de trouble pour la loi du mouvement pendulaire, quel avantage n'a-t-on point à réduire son importance ?

Pour donner une idée du résultat auquel je suis parvenu, je dirai que mon pendule s'entretient moyennant un déplacement du point de suspension de $0^{mm},02$, à chaque oscillation.

Sans vouloir entrer dans l'examen des applications auxquelles se prête mon appareil, je ferai remarquer que, en ce qui concerne la distribution de l'heure dans les villes, il remplit une condition généralement exigée : l'émission d'un courant périodiquement inversé.

(*Comptes rendus*, 13 juin 1887.)

L'éclairage électrique à Châteaulin (*).

L'installation inaugurée le 20 mars dernier à Châteaulin (Finistère), au fond de la Bretagne, mérite une mention spéciale à cause des circonstances particulières de son fonctionnement.

L'usine hydraulique et électrique est à 2 kilomètres environ de la ville, à l'écluse de Coatigrac'h. La chute, de $1^m,3$ de hauteur, actionne une turbine Fontaine dont la puissance maxima est de 45 chevaux ; on règle cette puissance en ouvrant un nombre d'orifices plus ou moins grand ; un indicateur placé sur le tableau de distribution du courant fait connaître le nombre d'orifices ouverts à chaque instant.

Cette turbine actionne une dynamo compound, système Thury, et une dynamo Gramme de 220 volts et 38 ampères, destinée à charger les accumulateurs de l'usine et, pendant le jour, un certain nombre d'accumulateurs placés à la mairie de Port-Launay, petit port de mer à 4 kilomètres de distance de l'usine.

La distribution comporte deux circuits distincts : 1° un circuit municipal alimentant les vingt-cinq lanternes électriques de la ville, qui paye pour ce service 1.600 francs par an; 2° un circuit de distribution aux abonnés, qui emploient actuellement près de quatre cents lampes à incandescence de MM. Woodhouse et Rawson, lampes de 10, 20, 30 et 50 bougies, marchant uniformément à un potentiel d'environ 100 volts utiles.

La canalisation du transport, aérienne, a près de 2 kilomètres de longueur; elle est constituée par des câbles en cuivre de 12 millimètres de diamètre; la canalisation de distribution est aussi aérienne et a 6 kilomètres environ de développement; les conducteurs secondaires chez les abonnés sont formés de fils sous plomb.

Pour éviter les frais et les ennuis inhérents à l'emploi du compteur dans une aussi petite installation, les lampes sont payées à forfait à raison de $3^f,50$ par mois et par lampe de 10 bougies.

(*) Extrait de l'*Électricien*.

A minuit, l'éclairage municipal cesse, la machine s'arrête et le service des abonnés est continué par une batterie de 60 accumulateurs placée à l'usine.

Les deux cents abonnés se composent des hôtels, magasins, cafés, église, halles, mairie et quelques maisons particulières.

E. H.

Blanchiment électrique (*).

La dernière séance de la section londonnienne de la *Society of chimical Industry* a été l'objet d'une discussion fort intéressante sur les prix comparatifs du blanchiment par l'électrolyse et par les procédés actuellement en úsage. En présence de la disparition imminente du procédé Leblanc pour la fabrication des alcalis, dit l'*Electrician*, et, par conséquent, la cessation de la fabrication de l'acide chlorhydrique, qui est un sous-produit, la question de la fabrication de la poudre à blanchir, ou chlorure de chaux, doit être envisagée sans plus tarder.

Le prix du chlorure de chaux s'élèvera à mesure que le procédé Leblanc tombera, et les blanchisseurs devront examiner s'il est préférable de continuer à se servir de ce produit ou de l'abandonner entièrement et se tourner vers de nouvelles méthodes, telles que celle de M. Hermite. Les seuls agents de blanchiment autres que le chlorure de chaux sont le permanganate de potasse et l'eau oxygénée. Les rendements relatifs de ces différents agents, par rapport à la quantité d'oxygène, sont : 7,5 p. 100 pour le chlorure de chaux, 1,57 p. 100 pour le permanganate de potasse, 1,4 p. 100 pour l'eau oxygénée (10 volumes).

Le meilleur marché est le chlorure de chaux.

Le procédé de M. Hermite consiste à décomposer les chlorures alcalins, et préférablement le chlorure de magnésium, en solution aqueuse, par le courant électrique; il se forme beaucoup d'hypochlorite de magnésium, de l'hydrogène, et de l'eau oxygénée.

(*) *Électricien*, 2 avril 1887.

En pratique, on fait usage d'une solution contenant 2,5 p. 100 de chlorure de magnésium anhydre, et l'expérience prouve que, après avoir été électrolysée, une telle liqueur possède des propriétés décolorantes beaucoup plus énergiques qu'une solution de chlorure de chaux faite dans les mêmes proportions. M. Cross discute ensuite en détail le rendement des deux procédés et établit les prix de revient d'après les expériences qu'il a faites avec M. E.-J. Bevan.

Un moteur à vapeur d'une puissance de 5 chevaux est capable de produire l'équivalent de 1 tonne de poudre à blanchir en vingt-quatre heures au prix de 37f,50, et l'installation des appareils spéciaux, tels que dynamos, électrodes, bains, etc., peut être estimée à 37500 francs ou 25 francs par tonne. On voit que ce prix est bien inférieur à celui du chlorure de chaux (200 à 225 francs), et que le procédé Hermite mérite l'attention des manufacturiers.

Emploi de l'étincelle électrique pour la détermination du degré d'inflammabilité des pétroles (*).

L'industrie des huiles minérales a pris un essor considérable pendant ces dernières années, grâce à l'emploi de la distillation fractionnée. Ce procédé a permis de séparer des pétroles bruts un grand nombre de produits mélangés et d'appliquer ensuite chacun d'eux au service qui lui convient le mieux. C'est ainsi que l'on a obtenu l'éther de pétrole, l'essence de pétrole, l'huile de pétrole à brûler, les pétroles lourds, les huiles de graissage plus ou moins épaisses, la valvoline, la vaseline, la paraffine et le coke de pétrole. Mais dans l'industrie, le pétrole est distillé une fois ou deux seulement, et la ligne de démarcation entre le rhigolène (**) et le kérosène (***) est purement arbitraire.

(*) *Électricien*, d'après un Mémoire présenté à la Société internationale des électriciens par M. Paul Gahéry, chimiste au laboratoire des chemins de fer de l'Est (février 1887).

(**) Éther.

(***) Huile lampante.



Au début de l'industrie des huiles minérales, on a reconnu qu'il était nécessaire de tracer d'une manière certaine cette ligne de démarcation, afin d'assurer aux consommateurs la fourniture d'une huile convenable. Dès lors, il a été indispensable de trouver un mode d'essai spécial pour déterminer le point d'inflammabilité des huiles à brûler.

Nous allons exposer rapidement quelques-uns des différents appareils employés jusqu'à ce jour, et nous décrirons ensuite l'appareil de M. Seybolt, dans lequel l'électricité joue un rôle important.

Le mode le plus ancien employé pour essayer l'huile consistait à l'agiter avec de l'eau chauffée à une température donnée; on promenait ensuite une bougie allumée sur la surface du liquide et l'on observait s'il se produisait des vapeurs inflammables ou s'il prenait feu lui-même.

On désignait sous le nom de *point d'éclair* la température à laquelle les vapeurs s'enflammaient, et sous celui d'*essai à feu*, celle où le liquide prenait feu. Le point d'éclair est fixé à 35 degrés C. en France et 37°,7 C. en Amérique.

Depuis cette méthode préventive, on a créé un certain nombre d'appareils spéciaux, consacrés par l'usage ou prescrits par la loi. Ces appareils peuvent être classés en deux catégories : les appareils à vase ouvert et ceux à vase clos.

Les appareils à vase ouvert ne sont plus employés aujourd'hui, à cause du refroidissement et de la dissipation des vapeurs par l'air.

En 1879, le gouvernement anglais chargea M. Frédéric Abel d'élaborer une méthode scientifique. L'appareil construit par M. Abel se compose d'un petit réservoir chauffé au bain-marie et muni d'un couvercle de cuivre. Ce couvercle porte un thermomètre et une petite lampe qui peut osciller sur deux supports. Le porte-mèche est réglé de façon que la flamme ne dépasse pas $1^{mm},5$. Le couvercle est percé de trois trous carrés que l'on peut fermer par des soupapes glissant dans des rainures. Mais les expériences faites dans l'appareil Abel ont montré que le point d'inflammabilité de l'huile de pétrole est modifié de 0°,3 C., pour chaque 10 millim. de la hauteur barométrique.

Les appareils employés en France sont au nombre de deux : celui de Blazy et Luckaire et celui de Granier.

Le premier est spécialement affecté à la détermination du point d'éclair des huiles de graissage. L'appareil Granier est constitué par une petite cuvette à fond plat d'environ 8 centimètres de diamètre, haute de $2^{cm},2$. Sur le fond et au centre est soudé un petit cylindre tronconique dans lequel on place un porte-mèche et sa mèche; cette dernière est alimentée par le liquide à essayer. Un petit godet de 1 centimètre de hauteur sert de niveau, ce qui permet d'employer la même quantité de pétrole dans chaque expérience. L'appareil est muni d'un couvercle percé de deux ouvertures : l'une excentrique, dans laquelle passe le réservoir d'un thermomètre; l'autre, concentrique, sert au passage de la flamme, de la mèche et des vapeurs. Une tige de cuivre recourbée, de 1 millimètre de diamètre, traverse diamétralement l'ouverture et se trouve par conséquent dans la flamme; les deux extrémités de cette tige plongent dans le pétrole.

On voit que, dans cet appareil, la lampe est supprimée et que l'élévation de température est produite par la conductibilité calorifique de la tige de cuivre. Dès que le liquide émet des vapeurs, celles-ci viennent se mêler à l'air ambiant et produisent un mélange détonant qui éteint la lampe; à ce moment, on lit le degré du thermomètre qui indique le point d'éclair du pétrole essayé.

En Amérique, où l'industrie du pétrole est très développée, on fait usage de l'appareil Seybolt, dans lequel l'inflammation est obtenue au moyen de l'étincelle électrique. Cet appareil se compose d'un petit réservoir chauffé au bain-marie et de deux tiges de cuivre venant aboutir à une hauteur fixe au-dessus du niveau du liquide. Un thermomètre plongeant dans le pétrole indique la température. A chaque degré ou demi-degré, on appuie sur un bouton qui, en fermant le circuit d'une pile au bichromate et d'une bobine d'induction, fait jaillir une étincelle entre les deux tiges de cuivre.

Malheureusement les indications fournies par l'appareil Granier et l'appareil Seybolt ne sont pas concordantes, et cela tient à ce que, dans ce dernier, le vase est ouvert. M. Gahéry reconnut qu'en couvrant l'appareil Seybolt d'une feuille de

carton pour diminuer la surface d'évaporation, les résultats étaient beaucoup plus satisfaisants. L'étincelle électrique appliquée à un appareil à vase clos donnerait des indications très précises, et l'idée de substituer l'électricité aux moyens employés jusqu'à ce jour pour déterminer le point d'éclair des pétroles constitue une heureuse innovation. G. R.

Câbles doubles de Siemens et Halske.

Ce système proposé par la maison Siemens et Halske, de Berlin, a pour but, dit le *Bulletin des Sociétés d'électricité*, de supprimer les effets d'induction qui sont nuisibles dans l'exploitation des lignes souterraines, et cette question devient aujourd'hui très importante à cause des câbles d'éclairage électrique où l'on fait emploi de courants alternatifs très énergiques.

Pour éviter l'influence nuisible des effets d'induction sur les fils voisins, on a essayé d'enrouler le fil d'aller et le fil de retour l'un sur l'autre en spirale. Mais les câbles d'éclairage ayant chacun une section de 500 millimètres carrés, sont trop gros pour être ainsi tordus l'un sur l'autre; on pourrait tout au plus les enfermer dans un manchon, et ce système prendrait trop de place.

MM. Siemens et Halske ont eu l'idée de les disposer concentriquement de façon que l'un d'eux, placé au milieu, soit entouré d'une couche isolante sur laquelle on enroule l'autre conducteur formé de fils câblés; le tout est renfermé dans une gaine de plomb (*).

(*Bulletin de la Société internationale, des électriciens*, mai 1887.)

(*) Nous croyons intéressant de rappeler quelques solutions données au même problème pour les conducteurs téléphoniques :

Câble Gower (1879) : conducteur central avec gaine isolante et spirale de fil d'acier par dessus ;

2° Câble Lugo (1881) : deux conducteurs isolés; l'un s'enroule en spirale autour de l'autre; les deux conducteurs alternent comme position et, à tour de rôle, forment axe d'enroulement et spirale enroulée.

— Dans les différents systèmes à enroulement, quand les spires ne sont

Sur un coup de foudre observé à Eza (Alpes-Maritimes).

Note de M. Hubert. (Extrait d'une lettre adressée à M. Hermite.)

La nuit du 13 au 14 mai, un orage terrible éclata sur le petit village d'Eza, perché sur le flanc d'un pic qui domine la Méditerranée, à une altitude de 500 mètres, et qui est entouré des forts, encore plus élevés, qui commandent la frontière d'Italie entre Eza et Menton. Au sommet du pic, il reste les ruines d'un vieux château du temps des Romains; à 80 mètres plus bas, l'église du village, entourée d'une cinquantaine de maisons enceintes dans une ligne de fortifications construites au moyen âge contre les excursions des Sarrasins.

Le tonnerre s'avançait à coup redoublés, au milieu d'une bourrasque violente de pluie et de grêle qui faisait tout trembler, si bien qu'au premier moment tout le monde crut à un nouveau tremblement de terre, comme celui que nous avons éprouvé il y a deux mois. Mais bientôt deux coups terribles se font entendre en même temps que l'éclair brille d'un éclat sans pareil, et sont suivis chacun d'un craquement épouvantable.

Au lever du jour, chacun sort de chez soi et l'on accourt sur la scène du désastre : c'était navrant.

L'un des coups avait effondré un versant du toit de l'église et labouré l'autre à plusieurs places, cassé les vitres, puis, se partageant entre trois des tuyaux de descente des eaux pluviales, les avait fondus, tordus, brisés, projetés au loin; enfin

pas jointives, la résistance totale du circuit métallique se trouve augmentée dans des proportions appréciables.

3° M. Halkyard, en 1883, a breveté la construction d'un câble composé d'un conducteur central isolé sur lequel s'enroule une bande de métal à *spires jointives soudées ;*

4° Enfin, en 1880, MM. Berthoud, Borel et Cie avaient proposé de revêtir le conducteur central d'un tube conducteur continu servant de fil de retour (Remarques théoriques sur ce dispositif, *Journal télégraphique de Berne*, 1880, p. 94). Le câble ci-dessus de M. Halkyard ne diffère en réalité du conducteur Berthoud-Borel que par le procédé employé pour obtenir le revêtement métallique continu.

Voir encore : *Exposition internationale d'électricité, Paris*, 1881. Rapports du jury. T. I, p. 183. (*N. du C. de R.*)

arrivé en bas, l'un des courants avait abouti à la citerne, sous la sacristie; un autre s'était perdu dans le sol, et le troisième, après avoir brisé le trottoir en ciment, s'était creusé un trou de près de 1 mètre de profondeur sur 40 mètres de diamètre, et avait continué ses ravages en fendant du haut en bas le mur de soutènement qui fait partie en cet endroit, de l'ancienne enceinte fortifiée.

L'autre coup avait produit un effet encore plus terrible : il avait renversé une partie des ruines de l'ancienne construction romaine faisant crête au sommet du pic, en dessous avait fait éclater une partie du rocher d'environ 20 mètres cubes, et l'avait projetée dans toutes les directions, jusqu'à une distance de 100 mètres. Les flancs de la montagne étaient jonchés de ces débris, la place de l'Église couverte à ne point trouver un point où mettre le pied, les toits des maisons d'alentour crevés comme à la suite d'un bombardement, et jusqu'au chemin et aux champs voisins, où l'on voyait encore des pierres disséminées. Il y en avait de toutes grosseurs, depuis quelques blocs de près de 1 mètre jusqu'à des cailloux, et des ruisseaux de sable dans les ravins.

Ce qui dépasse tout, c'est, à côté de cette partie, qui a fait comme une explosion, une autre partie détachée de la montagne par une fente oblique, large et profonde, sur une longueur de 20 mètres. Si cette partie, mesurant plusieurs centaines de mètres cubes, venait, par un ébranlement quelconque, à glisser sur la surface déclive, elle pourrait produire encore de plus grands désastres.

Après l'exposé de ces effets terribles de la foudre, il me reste à poser une question aux météorologistes : Ne serait-il pas prudent d'installer un paratonnerre sur le sommet du pic, avec une chaîne assez longue pour conduire la foudre au fond du ravin, car il n'y a pas d'eau sur ce sol rocheux?

Les établissements du génie qui nous dominent n'ont rien, en effet, sans doute parce qu'ils en sont munis. C'est dans un de ces forts, celui dit de la Tête de Chien, qu'au dernier tremblement de terre, le guetteur, qui avait voulu interroger par le télégraphe son collègue du fort voisin, avait ressenti une si violente secousse qu'il en avait eu le bras paralysé.

(*Comptes rendus*, 23 mai 1887).

Télégrammes téléphonés en Belgique.

Le tableau qui suit donne le mouvement comparatif des télégrammes échangés, en 1885 et 1886, par la voie téléphonique, entre les abonnés des réseaux urbains et les bureaux télégraphiques de raccordement :

	1885	1886
Bruxelles	67.497	91.978
Anvers	51.222	57.513 (*)
Liège	44.731	53.184
Charleroi	33.169	43.613
Gand	31.244	32.997 (*)
Mons	23.792	31.062
Verviers	15.951	20.041 (*)
Louvain	15.297	15.118
Totaux	282.903	345.506

L'accroissement de mouvement d'un exercice sur l'autre est de 22,12 p. 100.

Le nombre 345.506 se décompose ainsi :

Transmis par les abonnés	187.777
Téléphonés aux abonnés	157.729

En outre, les réseaux nouveaux de Namur, Ostende, La Louvière, Courtrai et Malines, inaugurés respectivement en janvier, juillet, août, septembre et décembre 1886, ont fourni ensemble 18.342 télégrammes téléphonés, dont 8.562 émanant des abonnés et 9.780 à l'adresse de ceux-ci.

En résumé, le mouvement total de 1886 présente sur celui de 1885 une augmentation de 28,61 p. 100.

Le bureau de Bruxelles (nord) transmet et reçoit par téléphone une moyenne quotidienne de 252 télégrammes; Louvain arrive en dernier lieu, parmi les anciens réseaux, avec 41 télégrammes par jour.

(*Bulletin de la Société belge d'électriciens.*)

(*) Ces réseaux ont été gravement endommagés au commencement de l'année 1886.

Éclairage électrique des trains de chemins de fer.

La ligne de Pennsylvania Railroad a, pendant deux ans, éclairé avec succès plusieurs de ses voitures au moyen d'accumulateurs chargés dans les gares principales. La ligne Boston and Albany a organisé de la même manière une voiture d'un train de banlieue; les résultats obtenus pendant plus de deux mois l'ont décidée à monter le système sur l'un des trains express de New-York, où il n'y a plus d'alimentée à l'huile que la lampe d'avant de la machine et les lampes signaux du wagon de queue. C'est la première application complète exécutée en Amérique, et l'on se prépare à équiper de même un second train. Il y aura tous les jours entre Boston et New-York un express éclairé à l'électricité.

Chaque voiture ou wagon-salon renferme 24 lampes à incandescence de 16 bougies, disposées 2 sur les plates-formes, 16 à l'intérieur et les autres dans les cabinets de toilette. Les lampes des plates-formes sont indépendantes et peuvent être allumées, s'il est besoin, seulement pendant les arrêts aux stations.

Les accumulateurs employés sont du type Julien, et les voitures ont été montées dans les ateliers de la Compagnie à Allston. Soixante éléments de la batterie, qui pèse une tonne, sont disposés dans des caisses, au centre et en dessous du plancher, moitié de chaque côté. Ils sont reliés à un commutateur placé dans la voiture pour l'allumage des lampes. Celles-ci sont réparties sur deux circuits, de manière qu'on puisse allumer à volonté, soit toutes les lampes, soit seulement quelques-unes dans les cabinets de toilette et l'intérieur.

Lorsque le train arrive à Boston, il est dirigé sur une voie latérale de la gare et on relie les batteries d'accumulateurs à une machine électrique, sans déplacer ceux-ci.

La charge prend un temps plus ou moins long, suivant le degré d'épuisement des éléments. Il y a là certainement une imperfection à cause de la durée de l'opération; mais encore ne la faut-il pas exagérer *à priori*. Si l'on emploie un nombre convenable d'accumulateurs, il leur reste encore une provi-

sion suffisante d'électricité après un trajet de six heures, et le travail se réduit à leur restituer ce qui a été dépensé. La durée de la charge se trouve sensiblement diminuée et le matériel est moins longtemps réduit à l'immobilité.

Il n'y a pas de manutention des batteries, qui ne sortent pas des caisses des wagons. Les lampes peuvent rester allumées pendant douze heures, pour un parcours complet aller et retour de Boston à New-York, sans qu'il y ait lieu de recharger les éléments.

Les résultats obtenus dépassent toutes les prévisions. La lumière est brillante, fixe, uniformément répartie sans ombre aucune; il n'y a ni chaleur, ni odeur désagréable.

Aussi est-il permis de penser que cet éclairage sera promptement adopté pour les trains de luxe. On n'est pas encore fixé sur la dépense, mais on est porté à croire qu'elle n'atteindra pas 0f,05 par heure et par lampe, en comprenant les réparations, la surveillance et les renouvellements d'appareils, dans le cas où les accumulateurs ne dureraient que deux ans. On compte pour l'installation complète d'une voiture environ 4.500 francs.

Si les trajets se prêtent au remplacement ou au rechargement des accumulateurs, après six heures de service, cette somme pourrait être réduite de moitié, à 2,250 francs, et même moins encore, si toutes les lampes étaient montées sur le même circuit.

(*Bulletin de la Société internationale des électriciens*).

BIBLIOGRAPHIE.

Dictionnaire d'électricité et de magnétisme, étymologique, historique, théorique et technique, avec la synonymie française, allemande et anglaise, par E. Jacquez, chargé du service de la bibliothèque scientifique et administrative de la direction générale des postes et des télégraphes. — Nouvelle édition, entièrement refondue et considérablement augmentée. (Librairie Klincksieck, 11, rue de Lille.)

Depuis 1883, date de la publication de la première édition de cet ouvrage, la science électrique a beaucoup progressé et, avec elle, les applications industrielles de l'électricité. Bien des termes nouveaux ou jusques-là peu employés sont entrés maintenant dans le langage courant des électriciens et ont acquis droit de cité dans un dictionnaire technologique, et destiné à faciliter la lecture des mémoires français et étrangers sur les questions à l'ordre du jour.

On ne peut donc que savoir gré à M. Jacquez de faire profiter le public des additions importantes qu'il vient d'apporter à son premier essai : indépendamment de plus de quatre cents expressions nouvelles intercalées dans le texte primitif, tous les articles qui comportent quelque développement ont été examinés avec soin, précisés au point de vue historique ou complétés sous le rapport technique de façon à les mettre en harmonie avec les travaux les plus récents.

Cette œuvre d'érudition consciencieuse sera certainement appréciée à sa valeur par les télégraphistes et les électriciens qui ont déjà accueilli avec une faveur marquée la précédente édition.

L'Éd.-Gérant Dunod - PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1887 Septembre-Octobre

NOTICE

SUR

LA CARRIÈRE ADMINISTRATIVE

ET

LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

E.-E. BLAVIER

(Suite.) (*)

II

La résidence de Nancy, à laquelle Blavier revenait comme chef du service télégraphique du département de la Meurthe (1862), avait pour lui un attrait particulier. Il y avait acquis droit de cité par son mariage avec Mlle Grandgeorge (1858), dont la sœur aînée avait épousé, quelques années auparavant, son ami et camarade de promotion, M. Varroy, ingénieur des ponts et

(*) Voir la livraison de Janvier-Février 1887.

chaussées, depuis membre de l'Assemblée nationale, sénateur, ministre des travaux publics, personnalité des plus sympathiques, qui, comme ingénieur et comme homme d'État, a laissé une haute réputation d'intelligence et de droiture (*).

C'est dans ce milieu que Blavier utilisa ses moments de loisir à transformer son cours de télégraphie électrique de 1857 en un véritable traité didactique, résumant tous les progrès accomplis à la date de sa publication.

« En 1857, nous avons publié un *Cours théorique et pratique de télégraphie électrique*. Depuis cette époque, la télégraphie électrique a pris un grand développement...

« Nous avons donc été conduit à reprendre une à une toutes les questions que présente l'étude de la télégraphie et à les réunir dans un traité que nous avons tâché de rendre aussi complet que possible...

. . . .

« La France a rempli un rôle important dans le grand mouvement télégraphique. La ligne de Paris à Rouen a été l'une des premières grandes lignes; elle a été établie avant qu'on pût compter sur le succès. Des appareils nombreux de transmission ont été inventés en France et appliqués; tels sont l'appareil à signaux français, l'appareil à cadran de M. Breguet, les appareils d'Arlincourt, Froment, Dujardin, dont on trouvera la description dans ce livre.

« L'administration française a su comprendre que l'uniformité était une condition de succès pour la télégraphie, et a, il est vrai, adopté l'appareil simple et élémentaire de Morse, mais encore est-ce en France qu'a été apporté par M. Digney le principal perfectionnement qui a rendu cet instrument éminemment pratique.

« L'appareil imprimeur de M. Hughes, après avoir été dénaturé par les compagnies américaines, repoussé en Angle-

(*) Voir la *Notice sur la vie et les travaux de M. Varroy*, par M. A. Picard, ingénieur des ponts et chaussées, conseiller d'État.

terre, n'a dû son succès qu'à l'intervention de l'administration française, qui a reconnu, quand l'appareil lui a été présenté, en 1860, après quelques jours d'épreuve, tout le parti qu'on pouvait en tirer sur les grandes lignes.

« L'appareil Caselli a été construit en France, dans les ateliers de M. Froment; c'est en France qu'il a été essayé, adopté, mis en pratique (*).

« L'administration française s'est appliquée, *non à inventer des appareils qui ne peuvent venir que de l'initiative individuelle*, *stimulée par l'intérêt personnel*, mais a accueilli toutes les idées qui lui ont été soumises, à les étudier et à en tirer parti quand il y a eu lieu. On peut s'assurer qu'elle a été à la hauteur de sa mission en parcourant les *Annales télégraphiques*, publiées par un certain nombre de ces fonctionnaires...

« La télégraphie a-t-elle atteint la limite de son développement et de ses progrès ? Non, sans doute; bien des questions intéressantes restent encore à étudier, des perfectionnements à introduire; de nouvelles découvertes peuvent d'ailleurs ouvrir de nouveaux horizons à la télégraphie.

« On ne peut travailler utilement au progrès d'une grande application scientifique telle que la télégraphie que si l'on est au courant de son état exact, et c'est pour le faire connaître que nous avons entrepris la publication de cet ouvrage (**). »

Aucun traité de télégraphie n'a réuni à un plus haut degré les qualités maîtresses de l'écrivain en matière de science appliquée : ordre, méthode, précision, clarté. Certaines descriptions sont de véritables modèles du genre : par exemple, celles relatives aux appareils imprimeurs. En quelques pages, l'auteur trouve moyen de résumer la plupart des solutions connues, et même d'indiquer les principales variantes dont elles sont sus-

(*) Depuis 1867, la France a bien augmenté son actif propre en appareils ingénieux : nous citerons seulement les autographes Meyer et Lenoir, le relais d'Arlincourt, les appareils *multiples* Meyer et Baudot, le duplex sous-marin de Ailhaud, etc.

(**) Blavier, *Nouveau traité de télégraphie électrique*, introduction.



ceptibles ; à telles enseignes, qu'aujourd'hui encore il suffit de s'y reporter pour retrouver la plupart du temps non seulement l'idée première, mais aussi les moyens de réalisation d'une invention soi-disant nouvelle.

Le chapitre consacré à la *théorie de la transmission des signaux* mérite une mention spéciale : l'auteur a donné tous ses soins à cet important sujet, *base de la télégraphie électrique*. Les phénomènes qui accompagnent l'envoi et l'interruption du courant sur les fils conducteurs y sont exposés avec la plus grande simplicité, à l'aide des courbes représentant les variations de l'intensité à l'extrémité de la ligne, soit pendant les émissions (courbe d'arrivée), soit pendant les intervalles (courbe de diminution). De cette étude découlent naturellement les conditions à remplir pour obtenir une transmission régulière, c'est-à-dire telle que les signaux reçus représentent fidèlement les émissions de courant destinées à les produire ; on en déduit aisément les procédés à mettre en œuvre pour atteindre le maximum de rendement compatible avec l'état électrique du conducteur à desservir.

Le *Nouveau traité de télégraphie électrique* est trop bien connu des spécialistes pour qu'il y ait lieu de l'analyser en détail ; toutefois, certaines conclusions, certaines appréciations peuvent surprendre les jeunes télégraphistes : les signaler à leur attention est le meilleur moyen d'empêcher qu'ils n'en exagèrent la portée.

Dans le chapitre relatif aux perturbations de la transmission sur les lignes électriques, Blavier étudie avec soin l'influence des pertes à la terre ; mais, préoccupé de simplifier le raisonnement et les calculs,

il a cru devoir se placer exclusivement dans les conditions de la pratique habituelle. Le danger de ce genre de préoccupation est que les règles auxquelles l'on est conduit n'ont qu'une valeur relative, et qu'elles peuvent cesser d'être exactes si les conditions viennent à changer. C'est ce qui est survenu dans l'espèce. Lorsqu'une perte à la terre se déclare en un point d'une ligne, l'un des correspondants continue quelquefois à bien recevoir, tandis que, chez l'autre, l'intensité du courant reçu est trop faible pour actionner le récepteur ; de cette différence d'effet on peut conclure quel est le poste le plus rapproché du défaut. Or, la formule qui donne l'intensité du courant reçu est symétrique par rapport à la résistance de la pile et à celle du récepteur; il en résulte que l'on arrive à des conclusions opposées, suivant que la résistance du récepteur est plus grande ou plus petite que la résistance de la pile.

A l'époque où Blavier traitait ce sujet, les récepteurs avaient généralement une résistance élevée, et, dans les calculs approchés, on négligeait volontiers la résistance des piles. Aussi donne-t-il comme règle que le poste voisin du défaut est celui qui reçoit le plus mal (*). De nos jours, au contraire, la résistance du récepteur est le plus souvent inférieure à celle de la pile ; c'est alors le poste le plus voisin de la perte qui reçoit le mieux.

Nous avons déjà eu l'occasion d'expliquer la manière de voir de Blavier et de ses contemporains au sujet de la transmission simultanée de plusieurs dépêches par le même fil. Dans les *Annales télégraphiques* de 1860,

(*) Tome I, p. 342.

M. Rouvier avait donné une solution tout à fait différente d'un problème analogue. Il s'agit du mode d'exploitation désigné communément aujourd'hui sous le nom de *transmission multiple*, et représenté en France par les appareils Meyer et Baudot, en Angleterre par l'appareil Delany.

Le système Rouvier n'est pas mentionné dans le *Nouveau traité de télégraphie*, il y est seulement fait allusion dans une note marginale (*) :

« On peut encore concevoir la transmission simultanée comme l'utilisation des intervalles qui séparent les émissions du courant pendant le passage d'une dépêche pour employer le fil conducteur à une seconde transmission, mais ce n'est qu'une *solution illusoire*, applicable seulement quand la transmission principale n'utilise pas complètement le fil, comme dans le cas de l'appareil Caselli, où le retour du pendule est employé pour la transmission d'une seconde dépêche. »

Et cependant, à un moment donné, Blavier avait entrevu l'avenir de l'invention de M. Rouvier, car, dans le mémoire sur la « transmission simultanée », publié dans les *Annales* de mars-avril 1861, il s'exprimait ainsi :

« L'appareil de M. Rouvier résout complètement le problème, tel qu'il se l'est posé, d'utiliser tous les instants pendant lesquels le fil d'une ligne est libre dans le cours d'une transmission, pour l'employer à une seconde et même à une troisième transmission. Ce n'est pas, à proprement parler, la solution de la transmission simultanée, puisque les courants ne circulent que successivement dans le fil conducteur, *mais c'est peut-être le côté le plus pratique de la question* (**). »

Il rappelait ensuite que l'idée de faire servir un fil à

(*) Tome II, p. 330.
(**) *Annales*, 1861, p. 146.

plusieurs appareils avait été énoncée déjà plusieurs fois, notamment par *Stark* dans le *Journal de l'union télégraphique austro-allemande* (1855) ; que le premier appareil imprimeur de M. Hughes, breveté à la fin de l'année 1855, comprend une disposition, fondée sur le même principe, qui permet la transmission simultanée de deux dépêches par le même fil ; mais, ajoutait-il, la réalisation complète est due à M. Rouvier, « qui, du reste, dès 1852, avait proposé à l'administration française de faire fonctionner, par un procédé analogue, les deux indicateurs de l'appareil français à signaux au moyen d'un seul fil conducteur. »

M. Rouvier est donc l'inventeur de la télégraphie multiple. Voici, d'ailleurs, en quels termes il expose lui-même le principe de son système, et le parti que l'on pourra tirer de ses procédés :

« Concevons deux stations télégraphiques, reliées l'une à l'autre par un seul fil aboutissant à deux appareils Morse ordinaires A et A'. Supposons que l'une de ces stations transmette une dépêche en espaçant les signaux avec une parfaite régularité et en laissant entre deux émissions successives du courant l'intervalle d'un trait au moins. Pendant ces interruptions du courant, le fil de ligne restera sans emploi, et l'on pourra, sans troubler la transmission, le détacher des appareils A et A', le faire aboutir un instant à deux appareils B et B', et profiter de cet instant pour envoyer un courant plus ou moins prolongé de l'un de ces derniers appareils à l'autre, de manière à faire un trait ou un point. On obtiendra ainsi deux transmissions distinctes et simultanées. En donnant à l'espacement des signaux de la première transmission la longueur de deux traits au moins, on pourrait consacrer la première moitié de cet intervalle à la transmission par les appareils B et B', et la seconde moitié à la transmission par deux nouveaux appareils C et C'. On aurait de cette façon trois transmissions distinctes et simultanées. On conçoit la possi-

bilité de multiplier encore et indéfiniment les transmissions (*). »

Ainsi, deux émissions successives appartiennent à deux transmissions différentes ; entre deux émissions, la ligne est mise en relation avec le sol. Après avoir fait remarquer que cette précaution diminue « l'inertie de la ligne ou le temps qu'elle met à perdre sa charge électrique », M. Rouvier ajoute :

« Un autre avantage que présente mon système et *qui lui est tout à fait propre*, c'est d'affranchir presque entièrement la transmission de l'inertie des appareils récepteurs.

« Il faut aujourd'hui, à chaque émission du courant, laisser à l'électro-aimant du relais (**) et au gros électro-aimant le temps de prendre et de perdre le magnétisme, et donner à la palette du relais et au levier-poinçon le temps d'effectuer une double oscillation.

« Dans mon système, deux courants successifs agissant sur deux récepteurs différents, je n'ai plus à tenir compte que du temps nécessaire au développement du magnétisme dans l'électro-aimant du relais. Que la palette soit attirée le temps voulu, cela suffit, et le jeu successsif des autres parties du mécanisme se fera pendant l'émission immédiate d'un nouveau courant au récepteur suivant.

« Enfin, dans le système actuel, les temps consacrés à l'espacement des signaux, des lettres et des mots, et employés entre deux dépêches à compter le nombre des mots ou à régler les appareils, etc., sont tout à fait perdus au point de vue de l'utilisation des fils. Il n'en est pas ainsi dans mon système, puisque les intervalles laissés entre les signaux de l'une des transmissions sont en partie comblés par les signaux des autres, et qu'enfin la ligne ne cesse pas d'être occupée dans des moments où, aujourd'hui, elle est forcément inactive.

(*) *Annales*, 1860, p. 5 et 6.

(**) Le récepteur Morse alors en usage était le récepteur à gaufrage : le courant de ligne actionnait un relais qui envoyait un courant local dans le gros électro-aimant du récepteur, dont l'armature pressait le levier-poinçon contre le papier.

« En résumé, mes procédés simplifient la manipulation, facilitent la lecture et augmentent la vitesse totale des transmissions, d'une part, en permettant une succession plus rapide des courants, et, d'autre part, en diminuant les intervalles pendant lesquels le fil de ligne est sans emploi (*). »

L'invention de Rouvier est donc caractérisée par les deux traits suivants : 1° chaque signal n'occupe la ligne que le temps strictement nécessaire au fonctionnement du relais ; le jeu des autres organes de réception s'effectue localement pendant que la ligne est affectée à d'autres transmissions ; 2° les intervalles pendant lesquels la ligne est libre dans le cours d'une transmission sont en partie utilisés ; mais, par contre, un signal court prend le même temps qu'un signal long, et la lettre la plus courte occupe le fil aussi longtemps que la lettre la plus longue : c'est à ce dernier point de vue que se place Blavier lorsqu'il limite l'intérêt de ce genre de transmission simultanée au cas où la transmission principale n'utilise pas complètement le fil.

Mais le véritable motif pour lequel l'idée de Rouvier ne fit pas de suite son chemin, nous le trouvons dans le passage suivant du mémoire de Blavier sur la « transmission simultanée » :

« On peut faire à l'appareil de M. Rouvier, comme à beaucoup d'autres imaginés dans le but d'activer la transmission, une objection capitale : c'est, en particulier, sur les longues lignes et sur les lignes sous-marines qu'il peut y avoir un grand intérêt à tirer tout le parti possible d'un fil conducteur; or, précisément dans ces conditions, ces appareils ne peuvent être appliqués ou ne donnent pas une transmission plus rapide que les instruments ordinaires (**). »

(*) *Annales*, 1860, p. 19.
(**) *Annales*, 1861, p. 147.

Cette objection est reproduite dans le *Traité de télégraphie*, à propos de la manipulation automatique :

« Dans la pratique, la vitesse de transmission, sur les lignes d'une certaine longueur, ne peut pas dépasser de beaucoup celle qu'on peut obtenir à la main ; aussi les manipulateurs automatiques, qui exigent une composition préalable des dépêches et rendent les demandes de répétition et les réglages assez difficiles pendant la transmission, n'ont-ils pas été adoptés (*). »

Tout en convenant des avantages de la transmission automatique, Gounelle, en 1859, exprimait une opinion analogue à propos de l'appareil Wheatstone :

« Si la manipulation automatique est un progrès sur la manipulation ordinaire, on s'exagère généralement beaucoup ses avantages, surtout en ce qui regarde la vitesse. La manipulation automatique est beaucoup plns régulière que la manipulation ordinaire ; en outre, une dépêche préparée par le perforateur peut être relue avant d'être livrée à la transmission ; ces deux avantages ôtent à peu près toutes les chances d'erreur provenant d'une fausse manipulation, et ne laissent subsister que les erreurs produites par un mauvais fonctionnement des appareils. *La régularité de la manipulation et la manière dont on opère permettent aussi d'atteindre toute la vitesse de transmission que peut donner la ligne sur laquelle on travaille.* Il ne faut pas croire, toutefois, que la manipulation ordinaire soit si éloignée du maximum de vitesse qu'il est possible d'atteindre, et bien souvent la vitesse de transmission doit être diminuée pour toute autre cause que l'irrégularité de la manipulation... Avec l'appareil de M. Wheatstone, sur les lignes très courtes et aériennes, on aura une vitesse extrême ; sur les lignes ordinaires, la vitesse habituelle sera un peu augmentée, mais la transmission sera moins sujette aux erreurs ; sur les longues lignes et les lignes sous-marines, la manipulation ordinaire avec sa variation facile, *son tour de main*, si je puis m'exprimer ainsi, sera préférable (**). »

(*) Tome I, p. 193.
(**) *Annales*, 1859, p. 185.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer à propos de la transmission simultanée, les premières lignes aériennes laissaient fort à désirer sous le double rapport de l'isolement et de la conductibilité, et l'on conçoit l'importance que l'on attachait alors au *tour de main* de l'agent manipulant ; d'autre part, les relais employés pour la transmission à grande distance étaient loin de posséder la sensibilité des relais actuels, et, dans ces conditions, le rendement maximum était facilement atteint par un agent d'une habileté ordinaire.

Aujourd'hui, les limites entre lesquelles varie l'état électrique d'une ligne sont devenues bien plus étroites ; en diminuant la masse des organes mobiles, celle des noyaux des bobines, en coupant les culasses ou mettant les bobines en dérivation, les relais ont été perfectionnés au point que leur intercalation sur les longs parcours non seulement n'oblige plus à ralentir la transmission, mais qu'elle permet de l'accélérer en ramenant les conditions électriques de la ligne totale à celles de sa plus grande section. Aussi, la manipulation automatique, soit avec composition préalable comme dans le système Wheatstone, soit avec clavier à signaux comme dans le multiple Baudot, est-elle aujourd'hui appliquée sur les plus longues lignes aériennes des réseaux anglais et français.

En ce qui concerne les lignes sous-marines, on s'explique moins l'intérêt de la *variation facile* de la manipulation ordinaire. Sans doute un long câble ne pouvant pas être sectionné comme un conducteur aérien, un employé habile atteindra facilement le maximum de vitesse compatible avec l'état électrique de la ligne ; mais encore faut-il compter avec la fatigue et les défaillances du desservant.

En définitive, l'invention des divers systèmes de transmission rapide a devancé les besoins du trafic ; il n'est donc pas surprenant que les praticiens aient montré tout d'abord une certaine tendance à exagérer les inconvénients des changements que l'introduction de ces systèmes devait amener dans l'exploitation, inconvénients qui ont été réduits à leur juste valeur le jour où, pour faire face à des exigences nouvelles, on s'est trouvé dans la nécessité d'opter entre l'accroissement du nombre des conducteurs et l'amélioration de leur rendement (*).

Le premier volume du *Nouveau traité de télégraphie électrique* parut en 1865, le second volume porte la date de 1867. Dans l'intervalle (12 avril 1866), Blavier était nommé chevalier de la Légion d'honneur : « Vingt ans de services, auteur d'un traité sur la télégraphie. »

(*) Le mémoire sur la transmission simultanée (*Annales*, 1861) renferme encore un passage curieux à citer après l'invention de la télégraphie et de la téléphonie simultanées. Nous avons rappelé qu'en 1855, certains physiciens, Zantedeschi entre autres, assimilant la propagation de l'électricité à celle des ondes lumineuses, ne voyaient pas d'impossibilité à la coexistence dans un même fil de deux courants distincts : pour les courants ordinaires, cette opinion ne pouvait prévaloir, eu égard à la simplicité avec laquelle s'expliquent, par les lois des dérivations, les faits de la transmission simultanée. Mais, ajoute Blavier, « l'électricité à haute tension et l'électricité voltaïque se comportent quelquefois différemment. Ainsi la première peut passer entre des pointes un peu distantes les unes des autres, tandis que le courant ne s'établit qu'au contact. On peut se demander s'il ne serait pas possible de profiter de cette différence pour arriver à une double transmission « (*Annales*, 1861, p. 151). Werner Siemens (*Annales de Poggendorff*, 1856) avait de son côté observé que les courants alternatifs d'une machine magnéto-électrique, qui sont sans action sur un électro-aimant ordinaire, peuvent faire fonctionner un relais électrodynamique construit sur les principes de l'électrodynamomètre de Weber, et assez inerte pour ne pas obéir aux courants voltaïques de faible intensité. L'emploi du condensateur-séparateur, pour empêcher la confusion des courants télégraphiques avec les courants vibratoires, qui a donné la solution de la télégraphie et de la téléphonie simultanées, a été indiqué par Varley dans un brevet daté de 1870, c'est-à-dire bien avant l'invention du téléphone articulant.

En 1868, il passe de Nancy à Caen, puis (mai 1870) à Metz. La guerre éclate, Metz est bloqué ; il organise le service de la place et des forts, et, après la capitulation, vient à Lyon se mettre à la disposition de M. Steenackers, qui, le 4 septembre 1870, avait remplacé M. de Vougy dans la direction générale des télégraphes. L'usage de la télégraphie privée, suspendu pendant l'invasion, puis autorisé temporairement pendant la période électorale pour les correspondances intéressant les élections à l'Assemblée nationale, fut rendu, par arrêtés successifs, le 26 février 1871, dans les départements non occupés par l'ennemi, et, le 18 avril suivant, dans toute la France, sauf dans les départements de la Seine et de Seine-et-Oise.

Rappelé à Nancy en mars 1871, Blavier prit une part active au rétablissement des lignes télégraphiques de la région de l'Est, tâche rendue particulièrement délicate par la nécessité de ne pas toucher aux communications que le vainqueur s'était réservées. Ce travail de réorganisation fut dirigé avec beaucoup d'habileté et de prudence, et mené avec une telle rapidité que, presque du jour au lendemain, la France se retrouva en possession de son réseau télégraphique, sans que le public ait pu se douter des efforts qui avaient dû être faits pour arriver à ce résultat. Le principal mérite en revient à M. Pierret (*), inspecteur général

(*) Pierret (Henri-Pierre), né en 1823, entré dans le service télégragraphique en 1845, à sa sortie de l'École polytechnique. Nommé en 1861 inspecteur général des télégraphes, il fut chargé d'une des deux divisions qui comprenait alors l'administration centrale, celle du matériel et des dépêches; en cette qualité, il prit la plus grande part aux travaux préparatoires de la première conférence internationale des administrations télégraphiques, d'où est sortie la Convention de Paris (1865). Directeur de l'administration depuis 1871 jusqu'à la fusion avec les Postes (1878), décédé le 21 avril 1879.

des télégraphes, mis à la tête de l'administration après la démission de M. Steenackers (20 février 1871).

« M. Pierret était un fonctionnaire d'un caractère élevé, d'une profonde instruction, d'une haute intelligence, et, dans le cours de sa carrière, il a déployé de grandes qualités d'administrateur, qui se seraient peut-être montrées davantage, si un excès de modestie et de timidité de sa part n'en avait parfois atténué les effets (*). »

Après les désastres de la guerre vinrent ceux de la Commune ; enfin, le 25 juin 1871, la télégraphie privée était rétablie dans la Seine et la Seine-et-Oise, et partant sur toute l'étendue du territoire.

Le réseau reconstitué, restait à en tirer le meilleur parti possible. Une circulaire du 1er juillet 1872 rappelle que « la nature des fonctions des chefs de poste leur impose l'obligation de surveiller l'instruction pratique des employés sous leurs ordres, et de profiter, pour la compléter, des occasions et des incidents qui se présentent journellement. » Les publications, les ouvrages spéciaux traitant de la télégraphie sont distribués dans les bureaux et tenus à la disposition du personnel afin de faciliter les études individuelles. Enfin, l'administration institue dans tous les grands centres un cours pratique destiné à former des télégraphistes exercés, et, à Paris, un cours supérieur destiné à former des électriciens. Dans ce dernier enseignement, la mesure électrique moderne (**) occupe déjà une place importante. Son langage précis, ses méthodes rigoureuses, ses instruments délicats qui

(*) *Journal télégrapique international* de Berne (1879).

(**) C'est par les soins de l'administration des télégraphes que le *Traité élémentaire de la mesure électrique* de Latimer Clark (1869) a été traduit en français (1872), et complété par des extraits du *Formulaire* de Clark et Sabine.

jusqu'alors n'étaient guère employés que par les spécialistes de la télégraphie sous-marine, pénètrent ainsi dans le service normal, préparant le terrain à l'introduction des appareils rapides sur les grandes lignes du réseau.

En cela, d'ailleurs, l'administration des télégraphes ne faisait qu'obéir elle-même et associer son personnel à l'élan patriotique qui poussait alors les hommes d'étude vers le développement des forces intellectuelles du pays par la diffusion des connaissances nouvelles et l'union des efforts privés.

Pour la physique en particulier et les arts qui s'y rattachent, un homme de cœur et d'esprit, à idées larges et généreuses, Ch. d'Alméida (*), professeur au lycée Henri IV, avait pris la tête de ce mouvement, auquel il donna, par la fondation du *Journal de physique théorique et appliquée* (1872), une impulsion remarquable, qui aboutit à la création, sur des bases vraiment libérales, de la Société française de physique (janvier 1873).

Dès la première heure, cette Société compta au nombre de ses membres un certain nombre de fonctionnaires du service télégraphique, et parmi eux Blavier, récemment promu au grade d'inspecteur divisionnaire (1er octobre 1872) et chargé en cette qualité de la région de l'Est avec résidence à Paris. A ces fonctions fut ajoutée bientôt la mission éminemment délicate de présider les commissions particulières nommées pour l'examen des propositions intéressant les améliorations à apporter dans l'exploitation technique, commissions qui, par la force des choses, ne

(*) Voir « Notice sur la vie et les travaux de J.-Ch. d'Alméida », par M. Bouty (*Journal de Physique*, t. IX, p. 425, 1880).

tardèrent pas à se fondre dans une commission unique et permanente : la « commission de perfectionnement du matériel télégraphique ». Certain enfin que, cette fois, l'appui de l'administration supérieure ne lui ferait pas défaut, Blavier se préoccupe de reprendre la publication des *Annales télégraphiques*, interrompue depuis 1866, et, vers la fin de 1873, il aborde officiellement la question. Après avoir rappelé que les anciennes *Annales* « ont eu un assez grand succès tant en France qu'à l'étranger et ont contribué, de l'avis de tous, à l'avancement de la science télégraphique, » il ajoute :

« Les fonctionnaires qui habitent la province se plaignent, avec raison, de ne pouvoir se tenir au courant des théories nouvelles, des perfectionnements qui sont apportés journellement aux appareils, des inventions et des travaux qui intéressent le service télégraphique... La France est le seul pays qui n'ait pas de publication télégraphique périodique (*), et il en résulte pour elle un état apparent d'infériorité qui est regrettable. Enfin, des annales permettraient de rectifier souvent des idées erronées qui se répandent dans le public. En somme, je crois qu'il n'est personne dans l'administration qui ne désire vivement la création d'un nouveau recueil périodique ou la continuation de nos anciennes *Annales.* »

La démarche aboutit, et, à la date de juillet 1874, commence la *troisième série* des *Annales* (**).

(*) Le *Journal des télégraphes* (Revue mensuelle), fondé en 1866, ne s'occupait guère que des questions intéressant le personnel. Toutefois, en 1869, — grâce aux bienveillantes communications faites par la direction générale, — il fut en mesure de publier un bulletin télégraphique, rédigé sous la direction du secrétaire de la commission de perfectionnement de l'époque. Ce journal cessa de paraître à la fin de 1870.

Le journal *l'Électricité* date de 1876; *la Lumière électrique* de 1879, et *l'Électricien* de 1881.

(**) La *première série* comprend les *Annales* de juillet 1855 à février 1856 (collection de Saigey), la *seconde* comprend les *Annales* de juillet 1858 à juillet 1865.

« Aujourd'hui, les *Annales* reparaissent avec l'appui de l'administration des lignes télégraphiques. En vertu de la convention passée entre l'éditeur et l'administration, celle-ci se réserve le droit de faire insérer dans chaque numéro tels documents qu'elle juge convenables. Elle désigne, en outre, les membres du comité de rédaction ; mais, convaincue qu'il est indispensable au succès même de la publication qu'elle patronne d'offrir un champ libre à l'initiative individuelle, elle s'abstient de toute immixtion dans la préparation de la partie du recueil qu'elle ne s'est pas spécialement réservée. Dans la nouvelle situation qui leur est faite, les *Annales* peuvent, moins que jamais, être considérées comme devant rester l'œuvre exclusive du comité ; elles constituent essentiellement un organe offert à tous ceux qui s'occupent, à un titre quelconque, des questions si multiples relatives à la télégraphie (*). »

Blavier fut mis à la tête du comité de rédaction, limité d'ailleurs à quatre membres.

Relier la nouvelle série des *Annales* à la précédente, ou, ce qui revenait au même, au traité de Blavier qui résumait celle-ci, de façon à combler la lacune par le compte rendu des progrès réalisés dans l'intervalle, tenir en même temps le lecteur au courant des actualités, tel devait être l'objectif du comité.

Une de ses premières préoccupations fut de répandre, en les présentant sous une forme facilement accessible, les théories récemment mises en lumière par les travaux de l'Association britannique pour l'avancement des sciences, ainsi que le système coordonné d'unités qui en était la conséquence. Dans nos leçons sur la Mesure éléctrique professées au cours supérieur de 1873, nous nous étions efforcé de familiariser nos auditeurs avec ces théories et ces unités ; d'autre part, le *Journal de physique*, dès sa première année d'exis-

(*) *Annales*, 1874, introduction.

tence (1872), avait publié une série d'articles sur le potentiel, les unités absolues électriques et magnétiques et leurs rapports, les corrélations entre la propagation de la chaleur et la distribution de l'électricité, etc.

Dans une note magistrale insérée en tête de la première livraison de ce journal, M. Cornu avait démontré, avec une grande force et une grande clarté, que l'introduction, dans la théorie de l'électrostatique, d'un élément corrélatif de la température dans la théorie de la chaleur, était indispensable pour expliquer la loi de partage de l'électricité entre conducteurs électrisés placés à des distances telles qu'on pût négliger leur influence mutuelle, et reliés métalliquement par des fils de faible masse. On n'entrait cependant dans cette voie qu'avec une certaine timidité ; pour beaucoup de personnes, c'était sortir du domaine de la physique expérimentale et empiéter sur celui de la physique mathématique. On répondait en montrant que le nouvel élément était susceptible d'une définition expérimentale et qu'il avait ses instruments de mesure propres. Pour faire passer l'idée à défaut du mot dont l'allure abstraite pouvait effrayer les praticiens, on proposait de remplacer l'expression de « potentiel » par celle de « température électrique » ; beaucoup de physiciens, et non les moins connus, se demandaient, néanmoins, s'il y avait un intérêt véritable à acclimater dans le laboratoire une notion tirée de la mécanique céleste ?

Quant aux unités absolues, elles soulevaient bien d'autres critiques. On admettait, sans doute, que la mesure des résistances en longueurs de fils de cuivre ou de fer d'un certain diamètre n'était pas exempte d'inconvénients, mais n'avait-on pas l'unité mercurielle de Pouillet et de Siemens, si facile à définir et à

réaliser? L'unité mercurielle comme étalon de résistance, l'élément Daniell comme étalon de force électro-motrice, ne suffisaient-ils pas à tous les besoins de la pratique? A quoi bon des unités absolues, impossibles à définir simplement en langage ordinaire, parce qu'elles résultent de formules assez compliquées qui les relient à d'autres unités?

Hâtons-nous d'ajouter que les pays voisins étaient à peu près dans la même situation. En Angleterre même, dans la patrie de Green, de Joule et de sir W. Thomson, les doctrines préconisées par l'Association britannique n'étaient pas encore dans l'enseignement classique, bien que, depuis 1868, date de sa publication, le formulaire de Clark fût entre les mains de tous les électriciens et que les instruments de mesure de fabrication anglaise fussent étalonnés d'après les nouvelles unités. C'est ce que F. Jenkin, l'un des membres les plus actifs du comité nommé par cette Association, reconnaissait lui-même lorsque, dans l'introduction de son ouvrage *Électricité et magnétisme*, paru en 1873, il s'exprimait ainsi : « Il y a en ce moment deux sciences de l'électricité : celle des ouvrages généraux de physique, et celle plus ou moins connue des électriciens. Ces deux sciences parlent un langage différent, et c'est un fait digne de remarque que la science des hommes pratiques est, en quelque sorte, plus scientifique que celle des traités. »

Enfin, en Allemagne, dans la patrie de Gauss et de Weber, les fondateurs du système absolu, l'utilité d'unités usuelles dérivant de ce système était formellement contestée, et les savants comme les praticiens réclamaient énergiquement le maintien de l'unité Siemens et de l'étalon Daniell.

Blavier se réserva la tâche de traiter le sujet et d'y intéresser la majeure partie du public spécial auquel s'adressent les *Annales*, en faisant appel aux seules connaissances générales que possèdent toujours ou que retrouvent facilement les hommes de l'art, dont l'éducation professionnelle a été précédée d'une certaine éducation scientifique. Le traité de Jenkin était trop élémentaire, celui de Maxwell trop hérissé de difficultés mathématiques : il fallait un moyen terme. Les documents publiés par l'Association britannique renferment une note sur les « relations élémentaires entre les mesures électriques », par Maxwell et Jenkin, conçue dans cet esprit. Cette note est fort succincte et ne constitue guère qu'une sorte de programme détaillé ; mais elle pouvait servir de guide, à la condition de compléter les théories simplement esquissées, de démontrer les formules seulement indiquées, et de prendre comme point de départ les définitions et les lois d'un usage courant dans l'enseignement français de la mécanique et de la physique. C'est dans cet ordre d'idées que furent rédigés les articles sur « les grandeurs électriques et leur mesure en unités absolues », qui parurent successivement dans les livraisons des *Annales* de 1874 à 1880, et furent édités en volume en 1881.

Suivant son habitude, Blavier précise nettement, dans une courte introduction, l'objet de son étude :

En 1862, l'Association britannique pour l'avancement des sciences a adopté, pour la mesure des grandeurs électriques, un ensemble d'unités fondé sur le système des unités absolues des professeurs Gauss et Weber. Bien que l'usage de ces unités commence à se répandre en France, leur origine y est encore peu connue. Les définitions qu'on en trouve dans quelques ouvrages techniques sont loin de satisfaire l'esprit, de

donner une idée de leur importance et de pouvoir contribuer à les rendre populaires. On en jugera par la définition suivante de l'unité de résistance donnée par M. Fleeming Jenkin, et reproduite par quelques auteurs :

« L'unité de résistance absolue $\left(\frac{\text{mètre}}{\text{seconde}}\right)$ est telle, que le courant produit dans un circuit de cette résistance par la force électro-motrice d'une barre droite de 1 mètre de longueur qui se déplace à travers un champ magnétique ayant pour intensité l'unité d'intensité (définition de Gauss), perpendiculairement aux lignes de force et à sa propre direction, développerait dans ce circuit, en une seconde de temps, une quantité de chaleur équivalente à l'unité absolue de travail, en supposant qu'il ne se produit aucun autre travail ou aucun effet équivalent à un travail..... »

Cet énoncé est bien compliqué, ainsi que le reconnaît l'auteur lui-même, et cependant il est difficile de définir plus simplement l'unité absolue de résistance lorsqu'on la considère isolément.

Pour bien comprendre les unités électriques absolues, il est nécessaire de les étudier dans leur ensemble. C'est ce que nous nous proposons de faire dans ce travail, après avoir passé en revue les lois et les propriétés de l'électricité et du magnétisme.

Parmi les passages les plus saillants par leur originalité, nous citerons :

La théorie du potentiel, exposée sans le secours du calcul infinitésimal.

Les applications numériques qui terminent le chapitre consacré aux formules de l'électrostatique : elles sont choisies de façon à bien mettre en relief comment ces formules permettent de se rendre un compte exact de la grandeur des phénomènes. En calculant, par exemple, la pression exercée contre l'air ambiant par une sphère d'un certain rayon chargée à un potentiel déterminé, on voit que cette pression augmente à mesure que le rayon diminue, et que si ce rayon tombe au-dessous

d'une certaine valeur, la sphère ne pourra pas garder son électricité ; d'où l'explication du pouvoir des pointes. De même, par le calcul de l'énergie d'une batterie, on peut prévoir l'importance des effets que sa décharge produira ; le nombre de kilogrammes trouvé donne une idée de l'effet mécanique ou physiologique, par analogie avec celui d'une masse pesante tombant d'une certaine hauteur ; par le nombre de calories correspondant, on évalue la longueur du fil de fer ou de cuivre d'un certain diamètre, que cette décharge serait capable de fondre.

Les calculs des actions à distance de deux courants fermés, et d'un courant fermé sur un pôle ou un petit aimant dans les positions respectives des aimants de Gauss, d'où l'auteur déduit les conditions d'équivalence des aimants et des courants sans passer par la notion du potentiel d'un circuit fermé.

L'application de la formule d'induction à un circuit de forme quelconque, sans référence aux lignes de force de Faraday, mode de représentation encore peu usité en France, etc., etc.

Les unités employées dans cette série d'articles sont celles du système mètre-gramme-seconde, adopté tout d'abord par l'Association britannique lorsqu'elle décida que les unités électriques seraient basées sur le système métrique français. Mais sur la remarque qu'il y avait une légère inconséquence à prendre le mètre comme unité fondamentale de longueur, alors que c'est le centimètre qui entre dans la définition du gramme, le Congrès des électriciens de 1881 donna la préférence au système centimètre-gramme-seconde (C.-G.-S.). Ce Congrès consacra en même temps les dénominations de

Ohm et de *Volt* pour les unités pratiques de résistance et de force électromotrice; enfin, pour éviter toute ambiguïté, il substitua le nom d'*Ampère* à celui de *Weber* pour l'unité pratique de courant, et donna le nom de *Coulomb* à l'unité pratique de quantité. Chargé, en 1884, de préparer une instruction sur les « Essais périodiques des lignes télégraphiques », Blavier saisit cette occasion pour condenser en quelques pages les principes de la mesure des grandeurs électriques et les définitions admises par le Congrès de 1881 et par la Conférence internationale de 1884; il en fit l'objet d'un chapitre précédant la description des appareils et des méthodes à employer dans le service courant des bureaux télégraphiques (*).

Tout en se livrant à ce travail de longue haleine, Blavier ne négligea pas l'étude des questions intéressant plus directement l'exploitation et dont il était saisi, d'ailleurs, comme président de la commission de perfectionnement du matériel; mais il dut laisser à ses collaborateurs des *Annales* le soin de les exposer dans le recueil. Désireux, toutefois, de donner un témoignage de sa sympathie personnelle à un chercheur qui, sans instruction première, est devenu par son travail, sa persévérance et une intuition naturelle des lois principales de la mécanique et de la physique, un des inventeurs les plus remarquables de notre époque, il rédigea lui-même la description complète de l'appareil autographique de M. Lenoir (*Annales*, 1875, p. 360).

Un coup d'œil sur la situation du matériel télégraphique en 1874 permettra d'apprécier l'importance des questions soumises à la commission de perfectionne-

(*) *Annales*, 1884, p. 412, 492.

ment et le rôle du comité des *Annales*. Sous l'administration de M. de Vougy, l'appareil Hughes s'était définitivement implanté en France, où le pnblic avait accueilli avec une faveur marquée l'impression des dépêches en caractères typographiques. Pendant les dernières années de l'Empire, on avait pu croire un instant à l'avenir de la transmission autographique. A la suite des résultats remarquables obtenus par M. Caselli, puissamment secondé, d'ailleurs, par l'administration française, la taxe des dépêches transmises par les appareils autographiques avait été fixée par une loi du 13 juin 1866, et le décret du 8 mai 1867 sur le service de la télégraphie privée avait visé ce mode de correspondance, dont les détails furent réglés par les circulaires des 30 juin et 20 septembre 1867.

Lorsque Meyer eut réussi à simplifier le système et à substituer la reproduction électromagnétique à la reproduction électrochimique, on ne douta plus du succès. La loi du 8 mai 1869 prévoit déjà la possibilité de réduire la taxe des dépêches autographiques, et un décret du 17 août 1870 effectue cette réduction. Ces espérances ne furent pas justifiées, et, bien qu'un fil de Paris à Lyon eût été réservé au service autographique, il n'y eut jamais qu'un petit nombre de dépêches échangées par cette voie (*). Aussi, après les événements de 1870, ce mode d'exploitation fut-il abandonné.

(*) On avait pensé que le caractère d'authenticité résultant de la transmission de l'écriture même de l'expéditeur séduirait les hommes d'affaires ; mais, en réalité, l'appareil autographique ne donne qu'un *fac-simile* en hachures parallèles et l'imitation est d'autant plus à redouter qu'en fait l'expéditeur doit souvent modifier son écriture pour qu'elle arrive lisible : si son écriture est fine, il doit grossir ses lettres et son trait, supprimer les déliés, etc.

On a fait cependant observer avec raison que les appareils autographiques étaient tout indiqués pour vulgariser la télégraphie dans les pays, comme la Chine, où l'écriture n'est pas alphabétique. En 1873, lors de la reprise

Mais les études sur les appareils autographiques eurent un résultat important : elles démontrèrent, pratiquement, qu'avec les systèmes de transmission en usage on était bien loin d'utiliser toute la capacité de rendement d'un fil. En particulier, la transmission de l'écriture ordinaire par hachures parallèles offre le double inconvénient d'exiger, pour chaque lettre, un grand nombre d'émissions de courant et de laisser le fil inoccupé pendant le passage du style sur les blancs du papier, c'est-à-dire pendant la plus grande partie du temps. Dans son *Traité de télégraphie* (*), Blavier fait remarquer qu'en remplaçant, dans l'appreil Caselli, l'écriture par les traits et les points de l'alphabet Morse, on aurait obtenu, entre Paris et Lyon, une vitesse de plus de 120 mots par minute, et que cette vitesse aurait même pu atteindre 160 mots par minute ; car il n'aurait plus été nécessaire d'avoir des instants d'arrêt pour rétablir la concordance entre les lignes successives, comme dans la reproduction d'un texte ordinaire ou d'un dessin, et il aurait suffi d'avoir aux postes extrêmes deux bandes ou deux cylindres animés d'un mouvement à peu près égal. La même remarque guida sans doute MM. Chauvassaignes et Lambrigot dans la construction de leur transmetteur automatique à composition préalable et récepteur électrochimique, qui fut essayé en 1867, et qui dérive évidemment de l'appareil Caselli. Elle guida aussi Meyer dans l'invention de son appareil *multiple* (1870).

En expérimentant son autographe électromagnétique, Meyer fut frappé de la disproportion entre le nombre de signaux Morse que cet appareil était suscep-

des essais de l'appareil Lenoir, on avait songé à les introduire en Algérie et en Tunisie pour la transmission des dépêches en langue arabe.

(*) Tome II, § 831, p. 300.

tible de transmettre et celui que fournit en réalité la manipulation ordinaire. Dans ce dernier mode, la préparation des signaux nécessaires à la formation d'une lettre ou la transcription des signaux reçus absorbe un temps bien supérieur à celui indispensable au passage des courants correspondants : d'où l'idée de répartir entre plusieurs desservants le travail total que le conducteur est capable d'effectuer, en les mettant successivement en relation avec le fil, chacun d'eux ayant, pour préparer l'envoi d'une lettre ou transcrire les signaux reçus, le temps pendant lequel la ligne est occupée par les autres. Or, l'autographe de Meyer renferme deux organes originaux : le pas d'hélice servant au tracé des hachures, et le pendule conique réglant le synchronisme. Pour répartir les signaux entre plusieurs récepteurs, il lui suffit de sectionner le pas d'hélice et d'éloigner les fragments les uns des autres en les transportant, parallèlement à eux-mêmes, sur leur axe commun, de façon à placer chacun d'eux en regard d'une bande spéciale; pour mettre la ligne en communication successive avec les divers postes, il emprunta le commutateur tournant du typotélégraphe Vavin et Fribourg, dont il fit le *distributeur;* enfin, le pendule conique mit en concordance les distributeurs placés aux extrémités de la ligne (*).

(*) Dans le système Rouvier, comme dans le système Meyer, le fil transmet dans une même période de temps (une oscillation du pendule ou un tour du distributeur) une lettre appartenant à chacune des transmissions simultanées; mais la distribution ou le passage du fil, d'un poste au suivant, s'effectue après chaque signal dans le premier, après chaque lettre dans le second; de là, les caractères distinctifs des deux appareils : nécessité pour le premier de réserver, dans chaque période, le temps nécessaire à la préparation de la lettre, et cadence de manipulation commune à tous les postes, mais utilisation partielle de l'intervalle des signaux et affranchissement de l'inertie des organes enregistreurs; — nécessité pour le second d'enregistrer tous les signaux composant la lettre avant de donner la ligne

L'appareil Morse sur les lignes secondaires, l'imprimeur Hughes et le multiple Meyer sur les lignes à grand trafic, tel était, en 1874, l'outillage de notre exploitation. Si on le compare à l'outillage du Post-Office, les tendances des administrations des deux pays commencent à s'accuser nettement. En Angleterre, on se préoccupe avant tout d'accélérer la transmission et de simplifier les instruments. Dans la plupart des stations, l'appareil Morse est réduit à son organe électromagnétique, et la lecture se fait au son. L'impression des dépêches en caractères typographiques n'a pas séduit nos voisins ; ils délaissent l'appareil Hughes, qui exige un apprentissage relativement long et qu'ils regardent comme une machine à mécanismes compliqués et trop sujets à dérangements. Sur les lignes chargées, ils développent l'usage du système automatique Wheatstone adapté à la transmission Morse ordinaire, système qu'ils perfectionnent tous les jours et qui leur donne des résultats dignes d'attention. Plusieurs des organes de ce système sont sans doute très délicats et comparables à ceux des chronomètres ; mais, comme ces derniers, quand ils sont construits avec soin et réglés avec précision, ils se dérangent rarement ; leur manœuvre n'exige pas comme celle du Hughes un agent expérimenté, souvent doublé d'un mécanicien. La composition préalable et la traduction peuvent être confiées à tout agent connaissant le Morse ; pas de synchronisme à entretenir; survienne une interruption de la ligne, la composition préalable ne reste pas inactive, et, au moment du rétablissement, présente au transmetteur, qui l'écoule rapidement, tout le stock accu-

au poste suivant, mais manipulation successive et utilisation par d'autres transmissions du temps employé à la préparation de la lettre.

mulé ; enfin, le système se prête admirablement au service de la presse lorsqu'il s'agit de transmettre une même dépêche dans un grand nombre de directions (*).

En France, il a toujours été de règle de ne jamais sacrifier la sécurité de la transmission à sa célérité ; dans le service ordinaire, les appareils à signaux fugitifs ont été proscrits dès qu'on a eu entre les mains des appareils enregistreurs. Au Morse, toute dépêche doit laisser sa trace, et la lecture au son est interdite ; les mots sont lus et transcrits au fur et à mesure de la réception, et le correspondant coupe si la transmission est défectueuse ; la dépêche, collationnée et rectifiée aussitôt après son passage, n'est abandonnée qu'avec la certitude qu'elle est parfaitement reçue et prête à l'expédition à domicile.

Avec le système automatique, la traduction de la dépêche reçue prenant plus de temps que son passage sur la ligne et la transmission s'effectuant par séries, les accusés de réception, collationnements et rectifications ne peuvent être donnés immédiatement, en sorte que chaque dépêche, individuellement, est frappée d'un double retard, l'un tenant à cette cause, l'autre dû à la composition préalable. Sans doute, dans le service de l'appareil Hughes sur les lignes occupées, les dépêches sont transmises par séries ; mais le contrôle au départ, la suppression de la traduction à l'arrivée donnent de nouvelles garanties.

La transmission multiple offrait le grand avantage

(*) En résumé, dans l'exploitation du Royaume-Uni, le système Morse est approprié, dans chaque cas, de façon à satisfaire aux exigences du trafic ; suivant les besoins, on transmet directement ou l'on use de la composition préalable ; on reçoit sur des parleurs ou des enregistreurs ; on installe les instruments en simple, duplex ou quadruplex. Comme conséquence, suppression des spécialités, unification du matériel de transmission et du personnel chargé de le mettre en œuvre.

de ne changer en rien l'organisation habituelle du service télégraphique, puisque chaque poste travaille avec son correpondant dans une indépendance complète des autres postes placés sur le même fil, et en quelque sorte comme s'il était seul avec lui. Ainsi s'explique le succès que l'appareil Meyer obtint dès son apparition.

Appliquer la transmission multiple aux télégraphes imprimeurs parut alors le *desideratum* de la télégraphie française. Tandis que, dans ce but, quelques chercheurs s'efforçaient de combiner le télégraphe de Hughes avec le système de distribution de Meyer, M. Baudot (1874) arrivait au résultat par une voie tout à fait différente. Il s'était posé le problème de traduire automatiquement, en caractères typographiques, une dépêche transmise en signaux Morse. Wheatstone (1859) avait déjà résolu en partie le même problème pour son appareil à deux styles donnant des signaux composés de points sur deux lignes (points positifs et points négatifs). Son *traducteur* se composait d'un clavier dont les touches actionnaient une roue des types ; au lieu de traduire la combinaison de points obtenue sur la bande du récepteur, l'employé la reproduisait sur le clavier, et la pression du doigt sur les touches voulues déterminait, sur une nouvelle bande, l'impression du type correspondant. M. Baudot se proposa de supprimer l'intermédiaire humain, ou du moins de le remplacer par un organe mécanique. Cette étude devait le conduire et l'a conduit naturellement à la transmission multiple ; car le travail de traduction et d'impression typographique, qu'il soit commandé par un employé lisant les signaux ou par un organe dépendant lui-même de l'appareil qui reçoit ces signaux, ne s'effectue que lorsque la ligne et le récepteur pro-

prement dit ont accompli les fonctions qui leur sont dévolues ; dès qu'il a laissé trace de la combinaison émise, soit en l'enregistrant, soit en la transférant à d'autres organes qui la *gardent* à la disposition du *traducteur*, ce récepteur est prêt à recevoir d'autres signaux et la ligne peut être utilisée à d'autres transmissions pendant que s'effectuent, *en local*, les opérations relativement compliquées et longues de la traduction et de l'impression. Ainsi s'explique ce fait, surprenant au premier abord, que, cherchant un traducteur automatique, M. Baudot ait débuté par un multiple imprimeur. Les signaux Morse ne se prêtant pas à une transmission rapide, il dut préférer les combinaisons d'égale durée, et, voulant réserver un des sens du courant pour occuper la ligne à l'état de repos, il s'arrêta aux 31 combinaisons que fournissent 5 émissions d'égale durée et de même sens ; avec ces 31 combinaisons et en empruntant à l'appareil Hughes le mécanisme d'inversion pour le passage des lettres aux chiffres, et vice-versa, il était en état de satisfaire à toutes les exigences de la correspondance. Dans les *Annales* de 1877 (p. 20), M. Baudot a décrit les divers systèmes télégraphiques reposant, comme le sien, sur l'emploi de combinaisons de courants à intervalles définis (appareils à signaux indépendants). On remarquera cette particularité, que Whitehouse (1855) avait déjà utilisé une sorte de distributeur pour envoyer s*uccessivement par un seul fil*, *et non plus spontanément par* 5 *fils*, les 5 émissions de même sens dont il faisait aussi usage. Mais, en opérant par émissions successives, il faut, pour arriver à la traduction automatique, que le récepteur retienne la trace de ces émissions ; d'où l'emploi de relais à *électro-aimants polarisés*, qui emmagasinent

les éléments de la combinaison, puis, quand celle-ci est complète, la transfèrent à des organes locaux et deviennent dès lors disponibles pour recevoir une autre transmission. Cet *emmagasinement* est le trait saillant et vraiment original de la conception de M. Baudot, sans parler de l'élégance des divers combinateurs qu'il a imaginés pour traduire les signaux conventionnels en caractères typographiques (*). Telle est, en quelques mots, l'histoire et la conception de ce remarquable appareil qui, dans notre exploitation, s'est substitué à l'appareil Hughes pour répondre aux besoins de la correspondance sur les lignes où elle est le plus active, tandis que l'appareil Hughes prend lui-même la place de l'appareil Morse dès que ce dernier ne suffit plus au trafic.

D'autre part, pour desservir par des appareils rapides les communications à grande distance, il fallait un relais plus sensible que l'ancien relais Froment ou même le relais polarisé de Siemens; il fallait aussi compléter les organes de translation par des organes de décharge. Le problème fut résolu par l'emploi du translateur à décharge de d'Arlincourt.

Nous ne citerons que pour mémoire les perfectionnements apportés à l'appareil Meyer et au relais d'Arlincourt par M. Willot; les essais du transmetteur automatique d'Ailhaud et de l'appareil Hughes modifié par M. Rouvier; les tentatives d'Ailhaud et de M. Man-

(*) En définitive, au point de vue de la transmission multiple, on retrouve dans le système Baudot un des caractères du système Meyer, le passage de la ligne d'un poste à l'autre après chaque lettre, ce qui donne à chaque desservant le temps de préparer l'envoi de sa combinaison, — et un des caractères du système Rouvier, l'affranchissement de l'inertie des organes récepteurs, mais dans des conditions où cette inertie entraînerait une perte de temps relativement considérable, puisqu'il s'agit d'une combinaison de signaux à traduire et imprimer typographiquement et non plus d'un simple signal à inscrire.

droux pour installer l'appareil Hughes sur le câble de Marseille à Alger; les travaux de Bontemps sur les tubes atmosphériques, et nous passons sous silence bien des améliorations introduites dans le matériel des lignes et des bureaux.

Tout en encourageant les inventions nationales, l'administration française ne resta pas indifférente aux innovations venant de l'étranger. Elle traita d'abord avec Wheatstone pour l'usage de son système automatique; puis, lorsque l'expérience des États-Unis eut mis hors de doute la valeur pratique des systèmes duplex et quadruplex, elle rechercha les conditions dans lesquelles ces installations pourraient être avantageusement appliquées dans son exploitation. Par suite de l'extension donnée au système Hughes sous l'Empire, et de l'emploi, sur les lignes importantes, soit de la transmission automatique, soit de la transmission multiple (appareil Meyer d'abord, appareil Baudot ensuite), le service disposait, en matériel et personnel, des ressources nécessaires pour établir, sur tous les points où le rendement de Morse était insuffisant, des appareils Hughes donnant un rendement double. Il y avait donc peu de place, dans l'organisation du service français, pour un système intermédiaire comme vitesse entre le Morse et le Hughes, et le Morse duplex fut rarement employé, malgré sa simplicité. Mais la transmission double avec l'appareil Hughes pouvait avoir son utilité pendant que le multiple Baudot était encore dans la période d'enfantement. En conséquence, un traité fut conclu avec M. Stearns, dès que ce dernier eut résolu le problème, en empruntant, d'ailleurs, à MM. Terral et Mandroux leur système d'impression mécanique au départ. Il était encore in-

téressant de comparer la transmission multiple et la composition préalable dans leur application aux appareils à caractères typographiques. C'est dans ce but que fut expérimenté l'imprimeur de Olsen, dont le clavier perforateur avait attiré l'attention des membres de la Conférence télégraphique de Saint-Pétersbourg (1875). Mentionnons encore les essais des divers systèmes de transmission double et quadruple de M. Sieur, et notamment l'installation par Ailhaud de la transmission double sur le câble de Marseille-Alger, et on aura une idée de la part prise par la France aux progrès de la télégraphie de 1870 à 1878.

Le grade d'officier de la Légion d'honneur, conféré à Blavier par décret du 6 février 1877, fut la récompense des services qu'il rendit par la saine appréciation des inventions soumises à la commission qu'il présidait, et par la vulgarisation des connaissances théoriques et pratiques utiles aux inventeurs comme aux opérateurs.

La télégraphie française se préparait à figurer dignement à l'Exposition universelle de 1878, lorsque son organisation fut profondément modifiée à la suite du décret du 27 février 1878.

Un décret du 22 décembre 1877 avait placé l'administration des postes dans les attributions du sous-secrétaire d'État des finances ; par le décret du 27 février 1878, l'administration des télégraphes, auparavant rattachée au ministère de l'intérieur, passe au ministère des finances et est placée également dans les attributions du sous-secrétaire d'État, autorisé en même temps à prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer la réunion des deux services.

(*A suivre.*) J. RAYNAUD.

INSTALLATION DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

A SAINT-ÉTIENNE

Le réseau d'éclairage électrique de la Société Edison, à Saint-Étienne, est alimenté actuellement par quatre machines Edison du type de 400 ampères à 110 volts associées en quantité.

Le système de distribution est celui sous potentiel constant. Pour que la variation de résistance du circuit extérieur influe aussi peu que possible sur la différence de potentiel aux bornes de la machine, il faut que la résistance intérieure des générateurs soit aussi faible que possible. C'est ce qui explique la résistance de 0ω,008 donnée à chaque générateur. En outre, cette condition d'avoir une résistance intérieure petite impose la nécessité d'exciter les machines en dérivation. La résistance des inducteurs est de 12 ω 1/2 et la vitesse de rotation 720 tours à la minute.

Toutes les lampes sont établies en dérivation sur deux conducteurs en cuivre qui parcourent les rues où habitent les abonnés et qu'on nomme *circuits de dérivation*. Leur section est de 140 millimètres carrés. L'un d'eux communique avec le pôle positif des machines et l'autre avec le pôle négatif.

Il est bien évident que si l'installation se réduisait à des dispositions aussi simples, les lampes les plus éloignées des machines ne recevraient pas un potentiel

suffisant pour fonctionner, tandis que l'inverse se pro-

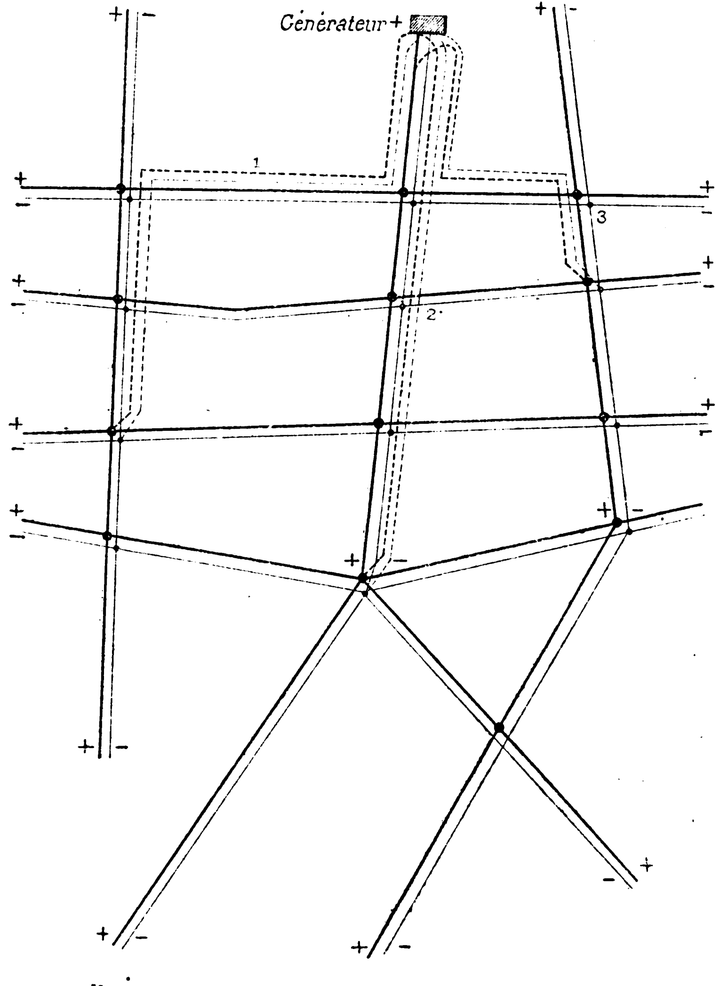


Fig. 1.

duisait pour celles qui en sont très rapprochées. Or, les lampes sont toutes construites pour fonctionner à

100 volts. Il est donc nécessaire de répartir les divers abonnés en groupes et d'amener au centre de chacun de ces groupes des conducteurs dont la section est calculée de manière que la différence de potentiel soit 100 volts à leurs extrémités lorsqu'il y a le maximum de consommation.

Les conducteurs d'alimentation qui réalisent cet objectif, appelés habituellement *feeders* par les industriels, ne subissent aucune dérivation sur leur parcours. Leur section peut aisément se calculer d'après les conditions énoncées ci-dessus. Supposons que les générateurs produisent 110^v aux bornes et qu'on admette une perte de 10 p. 100 de potentiel de la machine aux extrémités des feeders.

La perte :

$$p = 10^v = RI.$$

Or

$$R = \frac{2l\rho}{s},$$

l et s étant la longueur du feeder et sa section inconnue, ρ la résistance spécifique du cuivre,

$$10 = \frac{2l\rho}{s} I,$$

I est variable avec le nombre de lampes que doivent desservir les feeders. Si on admet par exemple, comme à Saint-Étienne, un groupe de feeders par 1.000 lampes de 16 bougies, soit $I = 1.000 \times 0,8 = 800$ ampères,

$$s = \frac{2l\rho \cdot 800}{10},$$

l est connu, puisqu'on connaît l'extrémité où l'on veut faire aboutir le feeder, donc S s'en déduit.

Actuellement à Saint-Étienne, il n'y a que deux grou-

pes de feeders. Celui qui alimente le réseau qui subit le plus de variations dans le nombre des lampes en service est relié par ses extrémités à deux fils conducteurs qui viennent à l'usine, où ils sont fixés aux bornes d'un électro-aimant *à grande résistance*, dont l'armature est maintenue par un ressort réglé de telle façon que lorsque la différence de potentiel aux bornes de l'électro, c'est-à-dire aux deux extrémités du groupe de feeders, est de 100^v, l'armature oscille entre deux butées sans en toucher aucune. Dès que cette différence augmente ou diminue, l'armature touche l'un ou l'autre des deux contacts et intercale ainsi une lampe de verre bleu ou rouge entre les bornes du générateur en même temps qu'une sonnerie fonctionne. La sonnerie constitue pour l'électricien le signal d'alarme et la couleur de la lampe allumée indique le sens dans lequel doit se faire le réglage.

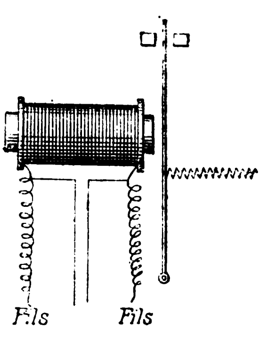


Fig. 2.

L'autre groupe de feeders est simplement en communication avec un voltmètre.

Le réglage se fait à la main. Il est nécessité par la variation du nombre des lampes en service. La perte de potentiel $p = RI$ est proportionnelle à I, qui varie dans le même sens que le nombre des lampes en service. Or, il importe pour la fixité de la lumière et la durée des lampes que le potentiel soit toujours le même. Il y a donc un réglage incessant à effectuer à l'usine pour que les extrémités des groupes de feeders aient toujours la même différence de potentiel. Le

réglage s'obtient en intercalant des résistances variables constituées par des feuilles de maillechort entre les feeders et les bornes de la machine.

Ce réglage est rendu complet par l'introduction d'une résistance variable (0 à 6 ω), manœuvrée à la main et introduite dans le circuit des électro-inducteurs de manière à obtenir le résultat indiqué ci-dessus.

Malgré toutes les précautions employées dans la construction des dynamos, celles-ci ne sont jamais identiques et, tournant avec la même vitesse, ne produiront pas le même courant.

Pour les machines groupées en série, cela ne présente pas d'inconvénient, mais il en est tout autrement

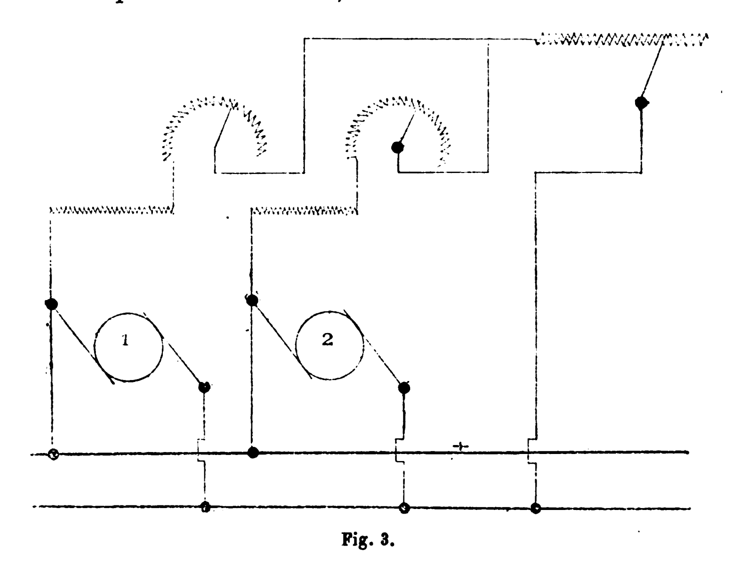


Fig. 3.

avec les machines réunies en quantité, car celle qui produit le courant le plus faible est traversée par un courant de sens contraire provenant de l'autre machine. Ce courant de sens inverse diminue le courant

primitif. Cette diminution réagit à son tour sur l'électro-inducteur pour établir une différence de plus en plus grande entre les deux courants fournis par les deux machines.

On évite ce danger en introduisant des résistances variables entre les bornes positives de chacune des machines et le conducteur qui les réunit; le réglage est fait une fois pour toutes.

Le réseau de Saint-Étienne est à la veille de subir d'importantes modifications aussi bien au point de vue de l'extension que de l'économie.

La société se propose en premier lieu de porter de 4 à 7 le nombre des dynamos; trois groupes de deux machines en série seront associées et une servira de rechange. Comme six de ces générateurs peuvent alimenter 3.000 lampes de 16 bougies, qu'un certain nombre des lampes en service est du modèle de 10 bougies, la Société pense pouvoir fournir le courant à 5.000 lampes, surtout grâce à une nouvelle modification dans la constitution du filament combustible, qui, d'après les auteurs, permettra de ne plus dépenser que 0,62

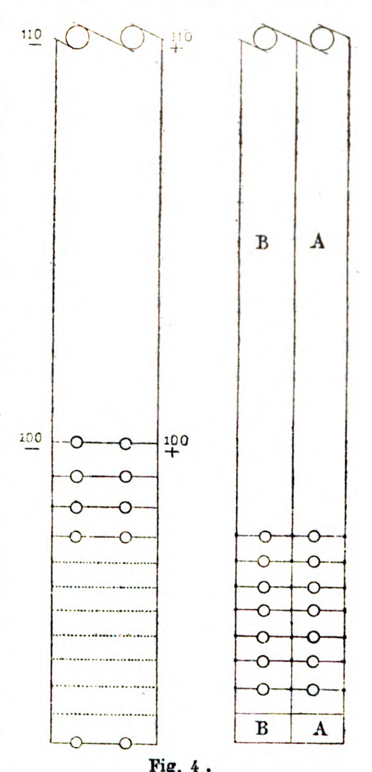


Fig. 4.

à 0,65 d'ampère au lieu de 0,80, tout en obtenant le même éclairage.

Au point de vue de l'économie, deux autres groupes de feeders seront établis. Les deux nouveaux groupes (III et IV) seront composés chacun de trois conducteurs au lieu de deux et un troisième conducteur sera ajouté à chacun des deux circuits I et II déjà établis. La même addition sera faite aux circuits de dérivation. Voici le principe de cette ingénieuse disposition qui permet de réaliser une économie de 60 p. 100 sur le poids du cuivre des feeders et qui est due à M. Edison.

Considérons deux générateurs réunis en série produisant chacun 110^v à leurs bornes. La différence entre les bornes extrêmes des deux machines sera de 220^v. Il est clair qu'il sera encore possible d'établir des lampes fonctionnant à 100^v en admettant une perte de 20^v par les feeders et en mettant deux lampes en série sur chaque dérivation ; mais, dans ce cas, la section des feeders peut être réduite au quart de la section précédemment calculée.

En effet, dans ce dernier cas, la section était déterminée par la relation

$$10^v = RI,$$

et dans le nouveau par :

$$20^v = R'I'.$$

Or, $I' = \frac{I}{2}$; donc $R' = 4R$. La section peut donc être réduite au quart et de ce fait l'économie du cuivre serait de 75 p. 100.

Mais cette disposition ne serait pas applicable dans la pratique, parce que les lampes seraient dans une

dépendance mutuelle deux à deux. Si l'une n'est pas allumée, la seconde ne peut l'être non plus. De plus, la différence 200v se partageant sur chacune des deux lampes en parties proportionnelles à leurs résistances, il serait indispensable que les deux lampes placées en série sur une dérivation fussent du même modèle, sans quoi l'une serait brûlée, et l'autre ne fonctionnerait pas.

Pour résoudre ces deux difficultés, M. Edison établit un troisième feeder qui prend son point d'attache à l'usine entre les deux dynamos en série et qui relie entre eux tous les conducteurs qui relient les deux lampes d'une même dérivation. De cette façon, chaque lampe ne fonctionne que sous l'influence d'une machine; mais l'avantage du dispositif réside dans ce fait que le troisième feeder n'est jamais traversé que par des courants très faibles dans la marche normale, et par conséquent ne fait éprouver que des chutes de potentiel insignifiantes. L'intensité de ce courant varie évidemment avec les dispositions et le nombre des lampes qui fonctionnent, mais est toujours faible dans la pratique.

Si, par exemple, les deux circuits A et B se compensaient, c'est-à-dire dépensaient la même quantité de courant, il ne passerait aucun courant dans le feeder central. C'est le cas le plus favorable, et dans la pratique, on doit s'en rapprocher autant que possible par le groupement des lampes. Rien, d'ailleurs, à mon avis, n'empêcherait pour arriver à ce résultat d'établir chez quelques clients, les plus importants et les plus rapprochés de l'usine, et à l'usine elle-même, une clef ou commutateur qui permettrait de brancher à volonté telle lampe ou tel groupe de lampes sur l'un ou l'autre des circuits.

Le cuivre ainsi dépensé n'est donc plus 0,25 du total primitif, mais $0,25 + \frac{0,25}{2} = 0,375$, par suite de l'adjonction du troisième conducteur. L'économie se trouve ainsi réduite grosso-modo à 60 p. 100.

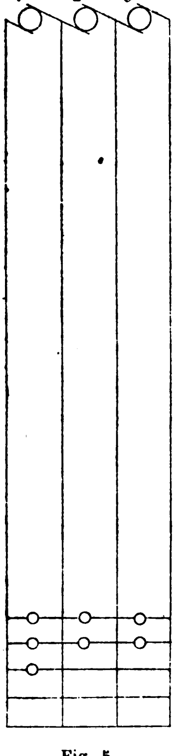


Fig. 5.

La méthode précédente serait d'ailleurs susceptible de généralisation; mais on se trouverait très vite limité par la condition imposée à tout courant de ne pas dépasser un à deux ampères par millimètre carré de section.

La figure schématique ci-contre représente la disposition qui sera adoptée lorsque les modifications indiquées seront introduites.

Pour terminer, donnons quelques renseignements pratiques. Les circuits d'alimentation ou feeders sont en cuivre dont la conductibilité est de 98 p. 100 de celle du cuivre pur. Deux modèles existent actuellement, le premier de 720 millimètres carrés de section est constitué par 60 fils de cuivre galvanisé de 38/10 de millimètre, et le second par 60 fils de cuivre galvanisé de 33/10.

Les circuits d'alimentation de 140 millimètres carrés sont également formés de 60 fils de cuivre galvanisés de 17/10.

Ces conducteurs sont entourés d'une double couche de caoutchouc dont l'épaisseur totale est d'environ

2 millimètres, recouverte elle-même par de la toile

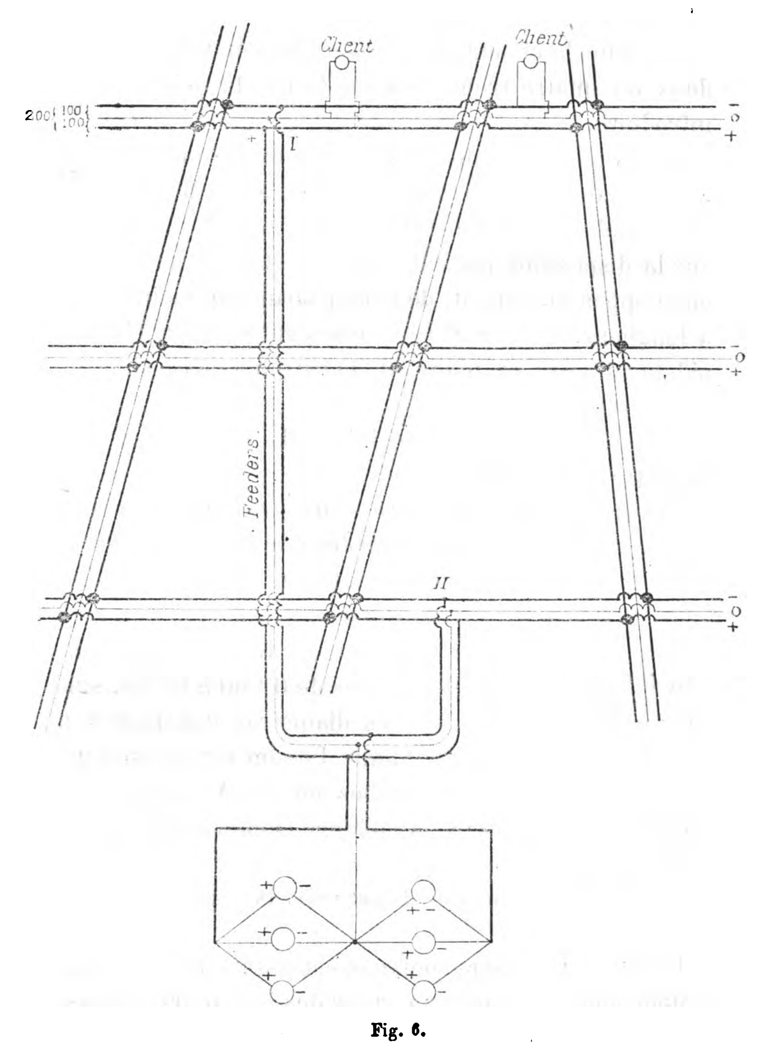


Fig. 6.

goudronnée. L'épaisseur de l'isolant paraît un peu faible pour la section du conducteur.

Tous ces câbles sont placés dans des conduites en ciment, enfoncés dans le sol à $0^m,70$ de profondeur et noyés dans le ciment. A cet effet, les conduites portent deux ou quatre trous, suivant le nombre de câbles à introduire.

Les conducteurs du nouveau réseau seront fabriqués d'une façon analogue à celle brevetée par M. Edison et très employée en Amérique. Elle a comme avantages sur la disposition par câbles isolés et protégés par des enveloppes en ciment, de coûter beaucoup moins cher, à longueur, section et isolement égaux, d'être plus rapidement mise en place et d'être plus accessible en cas de réparation.

La fabrication de ces conduites électriques sera faite de la façon suivante :

Les trois barres de cuivre + 0 — ayant les sections déterminées par le calcul, seront maintenues à un écartement invariable par des isolateurs en bois sec et bitumés B, distants les uns des autres de $0^m,60$ à $0^m,90$, suivant les diamètres des barres à maintenir. Le tout sera passé dans des tubes en fer A et les vides intérieurs comblés par un mélange isolant composé de :

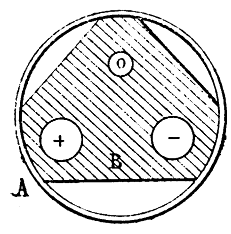


Fig. 7.

70 kilogrammes d'asphalte		Le tout coulé à chaud dans les tubes.
15 —	de paraffine	
18 —	de résine	

Le coulement de ce mélange est assuré par des pans coupés ménagés sur le pourtour des isolateurs en bois.

Les barres de cuivre dépasseront de $0^m,25$ chaque bout des tubes, de façon à pouvoir faire les joints des barres entre elles à l'aide de douilles en laiton boulon-

nées et soudées à l'étain sur les abouts des barres. Les joints se feront dans des boîtes en ciment d'où partiront également les dérivations d'immeubles. Les boîtes seront donc à la fois boîtes d'accouplement et boîtes de dérivation.

Diamètre et prix des divers feeders.

		Prix présumé.
Feeder n° I	1 barre de 13mm,5 2 — 18	30.000 fr. le kilomètre.
Feeder n° II	1 barre de 18mm 2 — 23	35.000 —
Feeder n° III	1 barre de 18mm 2 — 25	36.000 —
Feeder n° IV	1 barre de 23mm 2 — 30	45.000 —
Réseau avant dérivation	1 barre de 11mm,5 2 — 13mm,5	18.000 —
Réseau dans des cas exceptionnels	1 barre de 13mm,5 2 — 16	22.000 —

Les machines, les feeders et les lampes sont munis de coupe-circuit formés de fils de plomb placés sur le circuit et qui sont destinés à fondre et par conséquent à rompre le circuit si, pour une cause accidentelle, les machines, feeders ou lampes venaient à être mis en court circuit.

Enfin, le compteur employé est le volta-mètre à dissolution titrée de sulfate ; chaque compteur est double, de sorte que chaque moitié sert de vérification à l'autre. Cet appareil est peu pratique ; il nécessite de nombreuses manipulations, vérifications ou remplacements et a le grand tort de ne rien représenter pour le client. Seul, l'électricien peut en déduire la consommation.

Lyon, le 1er octobre 1887.

GIDEL,

Sous-ingénieur des Télégraphes.

EMPLOI DU TÉLÉPHONE

POUR LE SERVICE TÉLÉGRAPHIQUE [1]

Une application de la téléphonie dont nous voulons parler, mais qui n'est point du tout la moins importante, c'est l'emploi du téléphone pour le service de la *télégraphie*. L'administration des télégraphes de l'Empire germanique a sans doute le mérite d'avoir compris la première l'importance de l'assimilation de la téléphonie avec la télégraphie et d'en avoir fait un emploi considérable. On compte en effet, actuellement en Allemagne près de 4.000 stations télégraphiques desservies par des appareils téléphoniques. Nulle autre administration ne peut se vanter d'un pareil développement de la téléphonie dans la télégraphie.

Les craintes énoncées par-ci par-là que la téléphonie ne peut que nuire à la télégraphie sont victorieusement réfutées par cette fusion intime des deux genres de services. En effet, ils s'entr'aident. Le téléphone est puissant dans les petites distances où le télégraphe ne peut pas lutter avec lui ; mais aussitôt que la distance augmente, l'importance du téléphone diminue, et, finalement, c'est le télégraphe qui domine incontestablement. D'un autre côté, le téléphone combiné avec le télégraphe peut pénétrer dans les localités qui sont trop petites ou pas assez riches pour alimenter une

(*) Extrait du *Journal télégraphique* de Berne, octobre 1887.

station télégraphique proprement dite. L'installation d'une station téléphonique est très simple et peu coûteuse; la manipulation des appareils ne demande pas un long apprentissage ; on peut donc établir des stations téléphoniques faisant le service de bureaux télégraphiques dans des conditions beaucoup plus favorables pour les communes que celles qu'il faut exiger pour l'installation d'un bureau télégraphique. En Suisse, toute commune qui désire être reliée au bureau télégraphique le plus rapproché par une ligne téléphonique, doit supporter la moitié des frais de la construction de cette ligne ; la commune a, en outre, à fournir un local, son chauffage et éclairage pour y installer les appareils, et doit pourvoir au service de cette station téléphonique. Tout le reste, l'installation et l'entretien des appareils et de la ligne, le service de la station de transmission, etc., incombe à l'administration.

La combinaison d'une ligne téléphonique avec un bureau télégraphique est des plus simples et ne demande aucune description spéciale. Téléphone et télégraphe étant indépendants l'un de l'autre, on n'a qu'à reproduire sur une feuille de papier la réception orale, et ce document servira comme télégramme original pour la transmission télégraphique, et vice-versa.

Quelquefois on ne construit pas une ligne ou fil spécial pour la station téléphonique, mais on l'intercale sur un fil télégraphique. Ce genre d'intercalation est surtout employé quand la station téléphonique à créer est située sur la route du fil télégraphique et lorsque ce fil est peu chargé de correspondances télégraphiques. Le système d'appel employé en Suisse pour la téléphonie permet cette intercalation sans trop de dif-

ficulté. La *fig.* 1 donne les détails de cette installation : LL_1 est le fil télégraphique, A est le bureau télégraphique par l'entremise duquel les communications de la station téléphonique B sont transmis sur le réseau télégraphique, et vice-versa. M est l'appareil

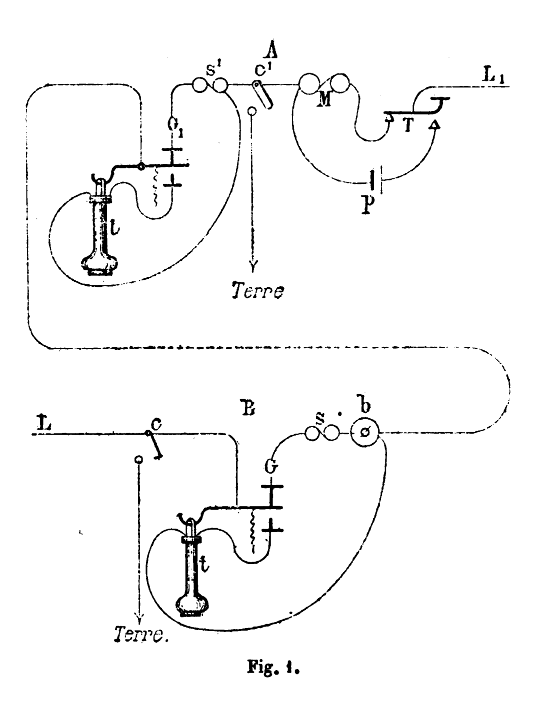


Fig. 1.

Morse, T le manipulateur, et *p* la pile. Le système micro-téléphonique de chaque station est, pour plus de simplicité, représenté par le téléphone *t* ; *c* et c_1 sont des interrupteurs de la terre, G sont des générateurs magnéto-électriques, *s* des sonneries marchant avec des courants alternatifs ; *b* est la boussole de la station téléphonique. Quand la ligne LL_1 est utilisée pour la télégraphie, la communication avec la terre est inter-

rompue en c et c_1, les courants télégraphiques passent par les sonneries s et s_1, mais ne peuvent pas les influencer parce qu'ils ne sont pas alternatifs. Il convient cependant de choisir une direction des courants télégraphiques telle qu'ils renforcent les aimants permanents de ces sonneries au lieu de les affaiblir. Les générateurs G sont, comme on le sait, automatiquement exclus de la ligne quand ils ne sont pas en action. Si la station B veut transmettre par téléphone un télégramme en A, elle regarde d'abord si la boussole b est tranquille, c'est-à-dire si la ligne est libre. Dans le cas de l'affirmative, elle établit la communication avec la terre en c et sonne. Les sonneries s et s_1 se mettent en branle, et les bureaux télégraphiques à la droite de B entendent un faible roulement de l'armature de leur récepteur qui leur indique la nature de cet appel. La station A, après avoir établi la communication avec la terre en c_1, répond aussi par le générateur, et la conversation peut commencer sans possibilité de dérangement de la part des bureaux télégraphiques. Pendant tout ce temps, la ligne LL_1 peut être utilisée par télégraphe à la gauche de L jusqu'au dernier bureau, et à la droite de L jusqu'à A. Le même arrangement peut aussi servir quand la ligne télégraphique est exploitée par le système du courant continu.

Une autre intercalation de stations téléphoniques dans un fil télégraphique à courant continu a été indiquée par M. *Zetzsche* (*). Quand il y a des stations téléphoniques des deux côtés du bureau télégraphique qui fait le service de translation, il s'agit surtout d'éviter,

(*) Voir *Electrotechnische Zeitschrift*, vol. V, p. 211.

dans le téléphone, des courants qui puissent affaiblir l'aimantation. La *fig.* 2 représente le bureau télégraphique chargé de faire l'intermédiaire entre des stations téléphoniques intercalées dans la ligne L_1 L_2 à droite et à gauche. A est l'appareil Morse, M le manipulateur, *p* la pile, T l'appareil micro-téléphonique,

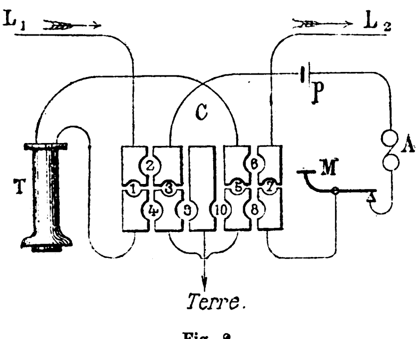


Fig. 2.

C un commutateur à fiches à 5 lames, dont 4 sont coupées au milieu. Dans la règle, les fiches sont placées dans les trous 1, 3, 5 et 7, le courant circule dans le sens des flèches et renforce l'aimant dans le système micro-téléphonique. Le téléphone est intercalé dans la ligne, mais sans pouvoir être utilisé. Quand on veut téléphoner avec une station à gauche du bureau de transmission, on n'a qu'à planter une fiche dans l'un ou l'autre des deux trous 9 et 10. La ligne L_2 est alors indépendante de la ligne L_1, et la direction du courant n'est pas changée. Si, au contraire, le téléphone T doit être mis en communication avec une station téléphonique placée sur ligne L_2, il faut planter les fiches dans les trous 2, 4, 6 et 8 (et encore dans 9 ou 10 pour établir la communication avec la terre). La direction du courant dans le téléphone restera la même aussi dans ce cas. On peut, en outre, exclure le téléphone de la ligne en plantant les fiches dans les trous 2, 4, 5 et 7, ou seulement dans 2 et 7.

ROTHEN.

NOTE

SUR LES

PARATONNERRES TÉLÉGRAPHIQUES

Divers physiciens ont fait des expériences sur les distances explosibles de l'étincelle électrique, suivant qu'elle éclate entre deux pointes, deux plaques, une pointe et une plaque, deux sphères, etc. Afin d'avoir des potentiels électriques déterminés et constants, ils ont pris pour sources électriques des piles qu'ils ont portées jusqu'à 11.000 volts. Ils ont trouvé, lorsque la force électro-motrice des piles ne dépasse pas 1.500 volts, que la distance explosible de l'étincelle entre les deux pôles est la plus grande, quand ceux-ci sont reliés à deux plaques planes parallèles séparées entr'elles par une couche d'air. Quand les piles sont plus considérables et jusqu'à 11.000 volts, la distance explosible est la plus grande entre deux pointes, puis entre une pointe et une plaque. D'autre part, comme dans beaucoup de cas les décharges atmosphériques ne dépassent pas celles d'une pile de 1.500 volts, on en a conclu que les paratonnerres à plaques unies et parallèles étaient plus efficaces que les autres.

M. Preece, avec la pile de M. Warren de la Rue, dont il a fait varier les nombres d'éléments de 1.000 à 1.500, a comparé, en 1879, les effets préservateurs de para-

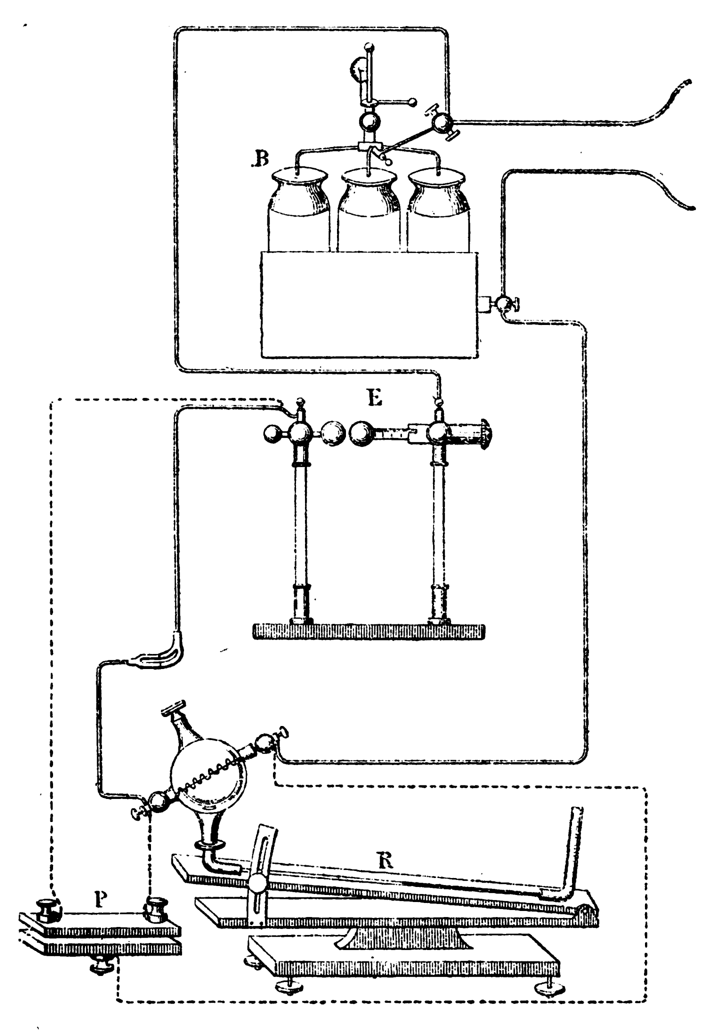
tonnerres à plaques séparées par de l'air et des paratonnerres de mêmes dimensions et à plaques striées, et il a trouvé que les premiers étaient supérieurs aux seconds, parce qu'il a observé que l'étincelle discontinue ou continue passait mieux entre les deux plaques unies qu'entre celles qui étaient striées. Ces plaques étaient distantes de $0^{cm},25$ l'une de l'autre.

M. van Rysselberghe, en opérant d'une manière analogue, a trouvé également, après de nombreuses expériences, qu'un paratonnerre composé de deux plaques métalliques, séparées par une couche d'air de $6/100^{e}$ d'épaisseur, a un effet préservateur supérieur à celui des autres. Cette conclusion a été déduite de nombreuses expériences dans lesquelles l'électricité était fournie par une pile, n'ayant toutefois qu'une force électro-motrice de 750 volts au plus.

Il m'a paru utile de refaire ces essais par une autre méthode et en opérant sur des masses électriques beaucoup plus grandes (soit comme tension, soit comme quantité) et plus en rapport avec les décharges atmosphériques. J'ai, au lieu de piles, pris une forte batterie chargée par une grande bobine de Ruhmkorff, et dont la décharge se produit par l'intermédiaire d'un excitateur à boules, dont la distance entre elles peut varier, mais est la même pour une série d'essais. Quand cette distance ne varie pas, on peut admettre que les quantités d'électricité qui, à chaque décharge, passent entre les deux boules et traversent les autres appareils intercalés, sont à peu près égales entre elles. La méthode suivie pour ces essais est la suivante :

On a une batterie B de six grandes bouteilles de Leyde chargées par une forte machine de Rhumkorff. L'une des armatures de cette batterie est reliée à un

excitateur fixe E, dont l'écartement des boules peut être réglé à volonté ; celui-ci est relié au thermomètre



de Riess, qui représente les appareils à garantir, tantôt directement (lignes pleines), tantôt par l'intermédiaire

du paratonnerre à expérimenter P (lignes ponctuées). L'autre armature de la batterie communique avec la deuxième borne du thermomètre et avec le bouton de terre du paratonnerre. Dès que la charge de la batterie est assez forte, il y a production d'étincelles entre les deux boules de l'excitateur et décharge à travers le thermomètre.

Au moment de la décharge à travers le thermomètre de Riess, le fil de platine de celui-ci s'échauffe; la température de l'air contenu dans la boule augmente en même temps et, par suite, son volume. La théorie montre que la pression de cet air restant constante, ainsi que l'inclinaison du tube de cet appareil et la quantité de liquide qu'il contient, l'accroissement θ de température du fil de platine qui représente l'effet destructeur de la décharge est à peu près rigoureusement proportionnel à l'augmentation du volume de cet air.

Si u est cette augmentation, on peut donc écrire

$$\theta = Au \text{ (*)},$$

ou si v est le volume de l'une des divisions du tube du thermomètre et n le nombre des divisions occupées par le volume u, on a $u = nv$ et par suite $\theta = Anv$, A étant un coefficient constant. Si donc θ et n correspondent au cas où l'étincelle de la batterie passe directement dans le thermomètre, on a pour ce cas :

$$(1) \qquad \theta = Anv.$$

Lorsque l'étincelle passe dans le thermomètre par

(*) A dépend du volume du ballon, du volume d'une division du tube, du coefficient de dilatation de l'air, des poids et des chaleurs spécifiques du platine et de l'air du ballon du thermomètre, ainsi que de l'inclinaison du tube de celui-ci.

l'intermédiaire d'un paratonnerre, l'échauffement du fil de platine correspondant à une augmentation du volume de l'air représenté par n' divisions, on a :

$$(2) \qquad \theta' = An'v,$$

et l'effet préservateur du paratonnerre expérimenté est évidemment égal à la différence d'échauffement du fil du partonnerre, on a :

$$(3) \qquad \theta - \theta' = Av(n - n').$$

Dans cette formule $(n - n')$ est seul variable, et quand on compare les résultats des essais faits successivement sur divers paratonnerres pendant un temps assez court pour que rien ne change dans le thermomètre et que la pile varie peu, il suffit de comparer les valeurs de $(n - n')$ pour ces divers parafoudres et d'inscrire n et n' dans les résultats des expériences.

L'effet préservateur relatif, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'électricité qui passe quand le paratonnerre est intercalé et celle qui passerait si le paratonnerre n'y était pas, est égal à :

$$(4) \qquad \frac{\theta - \theta'}{\theta} = \frac{Av(n - n')}{Anv} = \frac{n - n'}{n} = 1 - \frac{n'}{n}.$$

Les résultats numériques obtenus dans une série d'essais ne peuvent être comparés avec ceux obtenus dans une autre série, parce que les circonstances ne sont pas toujours les mêmes, bien qu'on n'ait pas changé l'inclinaison du thermomètre. L'expérience m'a montré que lorsque le fil de platine de cet appareil était remplacé par un autre fil aussi en platine, mais de longueur et de diamètre différents, le pouvoir préservateur

relatif d'un paratonnerre expérimenté changeait également.

L'expérience vérifie ce fait sur lequel on s'est appuyé, que, lorsque les deux boules de l'excitateur sont à la même distance, les quantités d'électricité qui passent entre elles dans les diverses décharges sont assez égales entre elles.

Afin de diminuer les erreurs pouvant provenir de petites différences dans ces quantités d'électricité, on alterne les diverses expériences ; on fait, par exemple, cinq essais sans paratonnerre, puis cinq essais sur un premier paratonnerre P, et cinq avec le paratonnerre P′ ; ensuite cinq essais sans paratonnerre, cinq avec le paratonnerre P et cinq avec le paratonnerre P′, et ainsi de suite ; on prend ensuite les moyennes respectives des résultats obtenus dans chaque série d'essais, et ce sont les nombres représentant ces moyennes qu'on met dans les formules précédentes.

Les tableaux contiennent les résultats trouvés en opérant par cette méthode sur les paratonnerres suivants :

1° Paratonnerre PB, à pointes multiples, système Bertsch, en usage dans l'administration française, et composé de deux plaques métalliques ayant 118 millimètres de long sur 70 millimètres de large, contenant chacune 292 pointes métalliques de 9 millimètres de longueur et écartées entre elles de $3^{mm},50$. Ces deux plaques, isolées l'une de l'autre, sont placées en regard à 19 millimètres de distance, de sorte que l'écartement entre les extrémités des pointes qui se font vis-à-vis est de 1 millimètre.

2° Paratonnerre P1, composé de deux plaques en laiton de $4^{mm},25$ d'épaisseur, dont les surfaces sont

bien unies et qui ont les mêmes dimensions que celles du précédent : 118 millimètres sur 70 millimètres. Elles sont placées en face l'une de l'autre à une distance de 1 millimètre, et séparées entre elles par une couche d'air.

3° Paratonnerre P2 ne diffère du précédent qu'en ce que la distance des plaques est moitié moindre.

4° Paratonnerre P3 ne diffère du P1 qu'en ce que les deux plaques sont séparées entre elles de 2 millimètres.

5° Paratonnerre Q1 diffère du second P1 par la surface des plaques, qui est moitié plus petite.

6° Paratonnerre Q2 ne diffère de Q1 que par l'épaisseur de la couche d'air entre les deux plaques, qui est moitié moindre.

7° Paratonnerre P4 diffère de P1 seulement en ce que les surfaces en regard des deux plaques sont striées, les stries de l'une des deux plaques étant perpendiculaires à celles de l'autre.

8° Paratonnerre PM, ancien paratonnerre à pointes mobiles de l'administration française, composé de six pointes à bout très aigu, en face d'une plaque métallique ; la distance de séparation étant de 1 millimètre.

Les résultats obtenus avec ces divers paratonnerres sont inscrits dans le tableau suivant.

Résumé des expériences.

NUMÉROS des séries	DÉSIGNATION des paratonnerres	DISTANCE des boules de l'excitateur	SANS le paratonnerre n	AVEC le paratonnerre n'	EFFET préservateur $n-n'$	EFFET préservateur relatif $\frac{n-n'}{n}$	OBSERVATIONS
1	P_B	16mm	184,00	10,00	174,00	0,9456	Moyennes de 30 essais.
	P_1	»	»	6,10	177,90	0,9670	
	P_2	»	»	6,40	177,60	0,9652	
	Q_1	»	»	9,20	174,80	0,9500	
	Q_2	»	»	9,00	175,00	0,9510	
2	P_B	18	103,75	3,37	100,38	0,9675	Une étincelle de 1mm,25 de long, correspond à une différence de potentiel de 5.000 éléments Daniell.
	P_1	»	»	3,00	100,75	0,9710	
3	P_1	18	285,33	4,75	280,58	0,9834	
	Q_1	»	»	5,25	280.08	0,9816	
4	P_1	16	233,05	4,30	229,02	0,9815	
	Q_1	»	»	4,25	228,80	0,9817	
5	Q_1	16	229,00	4,31	224,69	0,9820	
	Q_2	»	»	3,80	225,20	0,9830	
6	P_1	10	70,90	2,95	67,05	0,9584	
	P_M	»	»	6,00	64,90	0,9154	
7	P_1	10	78,35	4,95	73,40	0,9368	
	Q_1	»	»	5,65	72,70	0,9280	
	Q_2	»	»	5,35	72,00	0,9300	
8	P_B	5	24,95	2,20	22,75	0,9100	
	P_1	»	»	2,00	22,95	0,9200	
	Q_1	»	»	2,35	22,60	0,9058	
	Q_2	»	»	2,30	22,65	0,9078	
9	P_B	10	75,55	5,05	70,50	0,9332	
	P_1	»	»	4,60	70,95	0,9391	
	P_2	»	»	4,80	70,75	0.9365	
10	P_1	16	169,80	7,15	172,65	0,9580	
	P_4	»	»	7,85	171,95	0,9540	
11	P_B	17	90,65	3,55	87,10	0,9610	
	P_1	»	»	2,25	88,40	0,9750	
	P_2	»	»	2,65	88,00	0,9710	
	P_3	»	»	2,75	87,90	0,9700	
	Q_1	»	»	2,85	87.80	0,9666	
	Q_2	»	»	3,00	87,65	0,9670	
12	P_B	17	185,05	23,85	161,70	0,8733	
	P_1	»	»	20,60	164,45	0,8882	
	P_2	»	»	20,95	164,10	0,8860	
	P_3	»	»	20,75	164,30	0,8879	
	Q_1	»	»	21,60	163,45	0,8830	
	Q_2	»	»	21,10	163,95	0,8855	
	P_M	»	»	23,70	161,35	0,8714	
13	P_B	10	119,00	21,45	97,55	0,8200	
	P_1	»	»	19,35	99,65	0,8380	
	Q_1	»	»	19,90	99,10	0,8330	
	Q_2	»	»	18,80	100,20	0,8420	
14	P_B	5	452,00	9,30	35,90	0,7950	
	P_1	»	»	7,60	37,60	0,8320	
	P_2	»	»	8.60	36,60	0,8100	
	P_3	»	»	8,00	37,20	0,8230	
	Q_1	»	»	7,40	37,80	0,8370	
	Q_2	»	»	8,05	37,15	0,8250	
15	P_B	16	246,00	26,80	219,20	08,910	
	P_1	»	»	21,80	224,20	0,9120	
	P_2	»	»	21,00	225,00	0,9150	
	P_3	»	»	21,50	224,50	0,9130	
	Q_1	»	»	23,60	222,40	0,9040	
	Q_2	»	»	25,60	220,40	0,8960	
16	P_B	15	253,00	40,00	213,00	0,8420	
	P_1	»	»	29,00	224,00	0,8860	
	P_4	»	»	30,00	223,00	0,8810	
	P_M	»	»	31,80	221,20	0,8750	

L'examen de ces résultats montre :

1° Que le partonnerre Bertsch est le moins bon de tous ceux que j'ai essayés ;

2° Que le paratonnerre P1 est celui qui préserve le mieux pour des décharges électriques qui ne produisent pas des étincelles inférieures à 5 millimètres de longueur ;

3° Dans les circonstances où je me suis placé, le pouvoir préservateur de tous ces paratonnerres est considérable. Dans bien des cas, par suite de communications défectueuses à la terre, et aussi pour d'autres causes que je me propose d'étudier, ces appareils peuvnnt préserver beaucoup moins.

Le résultat pratique à retirer de ces expériences est le remplacement du paratonnerre Bertsch à pointes multiples par un paratonnerre formé de deux plaques unies parallèles, et dont les surfaces sont les mêmes que celles du paratonnerre Bertsch et distantes de 1 millimètre l'une de l'autre, lequel serait plus efficace et moins coûteux.

Il n'y a, d'ailleurs, pas à craindre avec cet éloignement des deux plaques l'une de l'autre que, sous l'action de fortes décharges atmosphériques, il se détache de l'une d'elles des globules métalliques qui établissent une communication entre elles et, par suite, de la ligne avec le sol. Dans les nombreuses expériences que j'ai faites, aucune de ces plaques n'a jamais subi la moindre détérioration, tandis qu'avec des décharges qui n'étaient pas plus fortes, j'ai foudroyé des paratonnerres à plaques striées en usage dans l'administration.

LAGARDE.

L'AIMANTATION DU FER ET DE L'ACIER

DANS LES CHAMPS MAGNÉTIQUES FAIBLES

Par lord RAYLEIGH, Sec. R. S.

La question de savoir si le fer subit de la part de forces magnétiques faibles une action proportionnelle à ces forces n'est pas seulement intéressante au point de vue théorique, elle l'est aussi à cause de ses rapports avec le travail actuel des appareils téléphoniques. Les opinions exprimées à ce sujet présentent des divergences considérables, plusieurs, parmi les autorités les plus reconnues en la matière, inclinant à croire qu'il faut une force finie pour produire l'aimantation. Voici, à ce sujet, une remarque du professeur Ewing : « En ce qui concerne le retard qui se présente lorsqu'on modifie l'aimantation du fer doux, mes expériences confirment cette idée déjà exprimée par d'autres observateurs, que, lorsque s'opère la rotation des aimants moléculaires de Weber, ces aimants n'éprouvent pas d'abord une déviation élastique, puis une déviation partielle permanente, ainsi que l'a admis Maxwell, mais une sorte de retard dû à un frottement analogue au frottement des solides, que la force magnétisante doit vaincre avant que la déviation ne commence pour toutes les molécules. » Plus loin, le professeur Ewing traite la question comme si elle était encore en suspens, remarquant que, sans doute, les courbes

semblent indiquer une valeur initiale finie de k (la susceptibilité), mais qu'elles ne prouvent cependant pas d'une façon positive que k ne soit pas, au début, nul ou même négatif.

Il y a un an et demi, mon attention se fixa pour la première fois sur ce sujet à propos de l'effet qu'auraient des noyaux de fer introduits dans les bobines de la balance d'induction. L'expérience me démontra que le fer était puissamment influencé par des forces faibles, et j'essayai de perfectionner l'appareil, dans l'espoir de pouvoir ainsi approfondir davantage la question. Je formai deux longues hélices semblables, en enroulant du fil fin bien isolé sur des tubes de verre mince. Ces tubes étaient disposés en série avec une pile, une boîte de résistances et un récepteur microphonique, de façon à constituer un circuit primaire. Le circuit secondaire consistait en une grande longueur de fil de cuivre placé sur une bobine, à l'intérieur de laquelle étaient passées les deux bobines primaires. Le circuit secondaire était complété par un téléphone. Lorsque aucun circuit primaire ne contenait de noyau, le silence du téléphone pouvait s'obtenir facilement. Les noyaux de fer dont on se servait étaient ceux qui ont été décrits dans un autre mémoire, et l'on trouva que tous (y compris le faisceau de 17 fils de fer très fins) troublaient le silence du téléphone tant que l'accroissement des résistances n'avait pas réduit la force magnétisante à moins de $\frac{1}{80}$ de la composante horizontale terrestre H. Bien plus, rien ne sembla indiquer que l'absence d'effet acoustique sous l'action de forces magnétisantes plus faibles fût due à autre chose qu'au défaut de sensibilité de l'appareil.

Je ne poursuivis pas plus loin mes expériences sur

ces dispositifs, car le calcul me montra qu'il serait plus aisé de mettre en évidence l'aimantation faible d'un morceau de fer *directement*, au moyen d'une aiguille suspendue et par une méthode magnétométrîque, qu'*indirectement*, par l'induction de courants dans un circuit fermé comprenant un galvanomètre. Presque tous les résultats que je vais donner ici ont été obtenus par une forme de la méthode magnétométrique, qui convient spécialement à l'étude de cette question. L'aimantation du fer continue-t-elle ou non d'être proportionnelle à la force magnétisante lorsque celle-ci est réduite à la dernière limite ?

L'hélice magnétisante dont nous nous sommes servi d'abord était une de celles dont nous avons déjà parlé. Elle consiste en une simple couche de fil de cuivre fin, recouvert de soie, enroulée sur un tube de verre et assurée par un vernis à la gomme laque. La longueur de cette hélice suivant l'axe est de 17 centimètres, son diamètre d'environ 6 millimètres, et il y a 32 tours de fil par centimètre. La résistance est d'environ $5^{\omega},5$.

Le magnétomètre consistait simplement en un petit miroir portant au revers des aimants d'acier B, et suspendu par un fil de soie, tel que White en livre pour les galvanomètres. On l'avait placé entre deux plaques de verre, à 2 centimètres de distance environ de l'hélice magnétisante.

L'action de la terre était compensée par des aimants d'acier, qui servaient en même temps à orienter le miroir perpendiculairement à l'hélice, malgré l'influence du magnétisme résiduel du noyau de fer.

On lisait les déviations comme on fait d'ordinaire avec les galvanomètres Thomson, en observant sur l'échelle les déplacements du spot lumineux produit par

un rayon réfléchi sur le miroir. L'échelle est divisée en millimètres et, avec une lentille, on peut lire avec certitude un déplacement de $\frac{1}{10}$ de division.

L'effet direct de l'hélice magnétisante sur l'aiguille suspendue était compensé par quelques tours de fil C, chaque tour ayant 7 centimètres de diamètre, portés sur un pied mobile D. On aurait pu se dispenser de cette addition ; mais, ce qui est essentiel, c'est la grande bobine E, qui compense l'effet du noyau de fer. Cette bobine est formée elle-même de 74 tours de fil, d'un diamètre moyen de 18 centimètres, fortement attachés avec de la ficelle, et montée sur un support indépendant F ; en faisant glisser ce support et, en dernier lieu, en se servant de la vis G, on peut régler avec précision l'action de cette bobine sur l'aiguille suspendue.

Toutes les bobines sont disposées en série, et, si l'état magnétique du fer sous l'action d'une force magnétique donnée est un état défini, on pourra disposer toutes choses de façon que l'application de la force n'occasionne aucun mouvement de l'aiguille suspendue ou, plus généralement, la compensation pourra être établie de façon à convenir dans l'intervalle d'une force magnétique à une autre. Si la susceptibilité k et la perméabilité ($\mu = 4\pi k + 1$) sont constantes, comme on l'a souvent supposé dans des écrits mathématiques, la compensation convenable pour un intervalle le sera également pour un autre, et l'aiguille du magnétomètre restera au repos, quelques changements que l'on apporte à l'intensité du courant magnétisant (*).

La question qui se pose est donc de savoir jusqu'à quel point cette proposition est conforme aux faits,

(*) La méthode de compensation n'est pas nouvelle. Elle a été employée par Hoosen. (*Ann. de Pogg.*, vol. LXXXV, p. 159; 1852.)



ou plutôt jusqu'à quel point elle est vraie pour des forces magnétisantes qui restent toujours très faibles; car nous savons déjà que, sous l'action de forces moyennes, vers 1 ou 2 unités C.G.S., par exemple, non seulement μ n'est pas constant, mais même qu'il n'existe pas de relation définie entre l'induction magnétique et la force magnétisante permettant de déduire l'une de l'autre si l'on ne connaît l'histoire antérieure du fer.

La force magnétisante de l'hélice est aisée à calculer. La différence de potentiels produite par un courant C passant dans n spires est $4\pi n$C. Si ces n spires occupent une longueur l, la force magnétisante est $4\pi C\frac{n}{l}$, soit, dans le cas qui nous occupe, 128πC. (C étant ici exprimé en unités C.G.S., 1 ampère est représenté par 0,1).

On pourra objecter que la force magnétique de l'hélice n'est pas la seule force extérieure qui agisse sur le fer. Il est exact, en effet, que les circuits compensateurs ont aussi une influence, et que cette influence est de sens contraire. Mais le calcul montre que cette influence doit être très faible. Le rayon de la grande hélice est de 9 centimètres, et, pour prendre un exemple tiré de nos expériences, la distance de son plan moyen à l'aiguille suspendue était, dans une série d'expériences sur du fer aigre, de 13^{cm},6. Dans ces conditions, la force magnétique due à l'hélice ne subit pas, même à son extrémité la plus rapprochée, une variation de plus de 2 p. 100 du fait de la grande bobine compensatrice E. L'effet de la petite bobine est à peu près le même; pour l'objet que nous nous proposons actuellement, ce n'est guère la peine de tenir compte de ces corrections.

Comme nous l'avons fait remarquer, les bobines de l'appareil étaient toujours disposées en série; seulement on employait une clef d'inversion, qui servait aussi à donner le courant ou à le rompre, et qui permettait de changer, par rapport au reste du circuit, le sens du courant dans le circuit compensateur. Pour une position de la clef (—), les actions du circuit et du fer aimanté sont opposées; pour l'autre (+), elles sont concordantes. Lorsque les courants mis en jeu n'étaient pas excessivement faibles, l'appareil tout entier formait un circuit simple, comprenant un Daniell et les résistances nécessaires. Non compris l'élément Daniell et les résistances introduites, la résistance totale était de $7^{\omega},5$.

Je vais maintenant donner comme exemple le détail de quelques observations faites, le 6 décembre, pour étudier la façon dont se comporte un fil de fer de Suède non recuit. Le diamètre du fil est de $1^{mm},6$; ce fil vient de la même bobine que celui qui a déjà servi dans des expériences précédemment décrites. On réglait d'abord le circuit compensateur jusqu'à ce que, avec une résistance additionnelle de 1000 ω, il n'y eût plus de différence, que la clef fût ouverte ou fermée.

Dans l'énoncé de ce résultat il suffit, pour le moment, de donner les résistances du rhéostat, celles de l'appareil et de la pile n'étant relativement d'aucune importance. Le courant correspondant est d'environ 10^{-4} C.G.S., et l'intensité du champ magnétique à l'intérieur de l'hélice est donnée par

$$128\pi C = 0,04 \text{ C.G.S.}$$

Nous donnerons de ce résultat une idée plus claire, en rappelant que, dans le même système de mesure,

on a

$$H = 0{,}18,$$

en sorte que la force agissante est ici d'environ $\frac{1}{5}$ de la composante horizontale terrestre.

Lorsqu'on portait la résistance à 11.000 ω, sans toucher, d'ailleurs, au circuit compensateur, le contact (—) ne produisait aucun mouvement perceptible, c'est-à-dire que la même compensation convient pour des orces beaucoup plus faibles. A ce point de notre expérience, il est nécessaire de nous assurer que l'absence de tout déplacement n'est pas due seulement à un défaut de sensibilité ; et cette indication nécessaire nous est fournie en donnant le contact inverse (+), lequel, avec 11.000 ω de résistance, nous donne une élongation de 57^{div}.

Pour réduire encore la force magnétisante, on disposa une dérivation (+); on fit passer le courant du Daniell à travers une résistance de 10.000 ω, puis à travers une caisse capable de fournir des résistances de 1 ω à 1.000 ω. Le circuit de l'appareil comprenait une autre résistance de 10.000 ω dont les extrémités étaient reliées à celles de cette caisse. Le courant de la pile était ainsi d'environ $0^{amp},0001$ ou 10^{-5} C.G.S. Si a est la résistance débouchée dans la boîte, la force électromotrice aux bornes de l'appareil est $a \times 10^{-4}$ volts, et le courant c, qui traverse l'hélice magnétisante et le circuit compensateur, est égal à $a \times 10^{-9}$ C.G.S.

Avec $a = 1000$ ω, (—) ne donnait aucune déviation appréciable, tandis que (+) provoquait une impulsion de 5^{div}.

A ce moment, pour accroître la sensibilité, on eut recours à la « méthode de multiplication (*) ». On règle

(*) Ici se place une Note assez longue sur les avantages de la méthode de multiplication, que nous ne reproduisons pas. (*Note du traducteur.*)

un pendule jusqu'à ce que ses oscillations deviennent synchrones à celles de l'aiguille suspendue ; il est alors aisé d'établir et de rompre le contact, de façon à augmenter l'amplitude de l'impulsion due à une force étrangère. Ainsi, pour $a=1000$, en donnant et rompant en temps voulu les contacts $(+)$, on peut augmenter l'impulsion jusqu'à atteindre 26^{div} au lieu de 5^{div}. La même série d'opérations, faite avec des courants inverses $(-)$, donnait une élongation d'à peine $\frac{1}{10}$ de division ; en sorte que nous pouvons considérer la compensation comme étant encore parfaite à 1 p. 100 près environ.

Quand on applique la méthode à des forces plus faibles encore, on ne peut éviter de perdre en sensibilité. Avec $a=100$, $(+)$ donnait 3^{div}, tandis que l'effet du $(-)$ restait insensible ; l'exactitude de la compensation se vérifie ainsi à 6 p. 100 près environ de chacun des effets pris séparément. Si, même à ce moment, le fer s'était montré réfractaire à l'aimantation, le fait se serait manifesté par l'égalité des deux déviations obtenues pour les deux manières d'établir le contact, soit $(+)$, soit $(-)$.

Dans le dernier cas mentionné, le courant était de 10^{-7} C.G.S., et la force magnétique de 4×10^{-5} C.G.S. Par suite, nous pouvons regarder comme établie par l'expérience la proportionnalité de l'induction magnétique à la force magnétique pour les valeurs comprises de $\frac{1}{5}$ H à $\frac{1}{5000}$ H. Par contre, aucune théorie, aucune observation ne nous donnent lieu de penser que cette proportionnalité doive être en défaut pour des forces encore plus faibles.

L'acier a donné des résultats tout à fait analogues. Le 13 décembre, on examina un morceau d'acier à forets

non recuits, la sensibilité de l'appareil, vérifiée par l'effet (+) étant à peu près la même que dans les expériences précédentes sur le fer aigre de Suède. Aucun défaut de proportionnalité ne put être relevé pour des forces variant de $\frac{1}{8}$H à $\frac{1}{5000}$H.

Le fer recuit donne des résultats beaucoup moins satisfaisants. Avec du fer non recuit et avec de l'acier, on peut arriver pour de faibles forces à une compensation absolue, de façon qu'on n'observe aucun mouvement, soit pendant, soit après la fermeture du circuit. Cela signifierait (autant que des expériences magnétométriques en peuvent décider) que le métal acquiert instantanément un état magnétique défini, qui ne change plus dans la suite; mais le fer doux présente des effets beaucoup plus compliqués.

Les observations suivantes ont été faites sur un morceau de fer de Suède, tiré sur la même botte que le premier et recuit à la flamme de la lampe à alcool. Lorsqu'on essaya d'obtenir la compensation d'une force égale à $\frac{1}{8}$H, on ne put obtenir un équilibre parfait. Si l'appareil était disposé de façon à réduire autant que possible l'effet instantané, il se produisait ensuite un déplacement progressif de l'aiguille atteignant environ 170^{div}, dont le sens aurait indiqué un accroissement continu de l'aimantation; des effets exactement inverses commençaient dès qu'on supprimait la force magnétisante. Ce qui prouve que le passage du fer doux à un nouvel état magnétique est loin de s'opérer instantanément. Par suite de la complication qu'entraînent les oscillations libres de l'aiguille, on ne put obtenir avec cet appareil de bonnes observations du déplacement progressif; mais il était évident que la plus grande partie de l'action anomale avait

disparu au bout de trois ou quatre secondes, tandis que l'état magnétique définitif n'était atteint qu'au bout d'environ quinze à vingt secondes.

C'était plutôt en s'attendant à trouver ce déplacement progressif réduit dans son importance relative qu'on examina ensuite l'action de forces plus faibles; mais en appliquant une force égale à $\frac{1}{10}$ H, on obtint encore un déplacement progressif de 13^{div} ou 14^{div}, ce qui n'est pas une fraction bien faible de l'action totale, d'autant qu'on observait alors, pour l'effet positif, une déviation de 300^{div}, dont 150^{div} seulement dues au fer. Avec 20.000 ω dans le circuit, ce qui donnait une force égale à $\frac{1}{100}$ H, le déplacement atteignait 6^{div} ou 7^{div}. En continuant à diminuer la force, on pouvait arriver à n'avoir qu'un déplacement insignifiant, mais qui semblait rester toujours dans le même rapport avec l'effet instantané. Abstraction faite de la complication due à ce déplacement, l'aimantation était proportionnelle à la force magnétisante dans l'intervalle de $\frac{1}{10}$ H à $\frac{1}{5000}$ H ou même moins.

La question qui se pose maintenant est celle-ci : Quelle est la valeur de la perméabilité qu'on vient de prouver être une constante définie dans le cas de petites forces magnétisantes? Le pôle agissant était trop près de l'aiguille suspendue, dans les expériences précédentes, pour qu'on pût déduire aucune valeur de μ même médiocrement approchée. Mais les observations décrites précédemment suffisent à montrer que la perméabilité constante du fer aigre a une valeur voisine de 90 ou 100, tant que les forces mises en jeu restent dans les limites indiquées. Le fait que la valeur initiale de μ est aussi considérable a évidemment une grande importance théorique et pra-

tique. Nous en donnerons encore d'autres preuves quand nous arriverons à des observations faites avec des dispositifs plus convenables pour une détermination absolue.

On ne doit pas donner un caractère trop tranché à cette limite de $\frac{1}{8}$H qui a été mentionnée précédemment. Au-dessous de cette valeur, l'écart entre les faits et la loi de proportionnalité existe sans doute mathématiquement parlant, mais il est à peine sensible. Pour s'en rendre compte, il est utile de considérer ce qui arrive lorsque cette limite est franchement dépassée. Si l'on introduit une force de l'ordre de H, la bobine compensatrice, réglée pour de petites forces, semble devenir insuffisante, et l'on a une déviation considérable. Si, ensuite, on supprime la force, l'aiguille ne revient pas complètement à sa position primitive, montrant par là que le fer conserve du magnétisme résiduel. Les applications et les suppressions subséquentes de la force produisent un effet à peu près régulier qui indiquerait toujours que les modifications magnétiques du fer sont plus considérables que ne le voudrait la loi de proportionnalité. Comme on pouvait s'y attendre, l'excès varie en raison du carré de la force mise en jeu ; en sorte que, pour une force assez petite, il devient insignifiant, et alors la loi de proportionnalité représente les faits avec une approximation suffisante. Mais la limite précise à fixer pour le champ d'application de la loi dépend nécessairement du degré d'approximation que l'on veut obtenir.

Les lectures que l'on fait avec ou sans action de la force étant assez bien définies, il serait certainement possible de rapprocher le circuit compensateur et d'obtenir ainsi un réglage pour lequel l'introduction ou

la suppression de force ne produirait plus aucune déviation.

Mais cet état d'équilibre doit être bien distingué de la compensation que l'on obtient avec de très petites forces, en ce qu'il ne s'applique qu'à une grandeur particulière de la force. Si nous tentons l'expérience avec une force moitié moins grande, nous trouvons l'équilibre en défaut; et, plus encore, pour une même force, la lecture sera différente, selon que nous arriverons à cette force depuis une force supérieure ou depuis une force inférieure. La courbe qui représente la relation de la force et de l'aimantation est une boucle d'aire finie.

Sauf le cas où l'on se propose d'examiner si la totalité de l'aimantation est produite instantanément (absence de déplacement progressif), il n'y a pas avantage à établir l'équilibre pour les limites extrêmes entre lesquelles on doit opérer. En général, il vaut mieux conserver le réglage qui convient pour les très petites forces. Quoique ne donnant plus une compensation complète, la bobine présente un avantage important qui va être indiqué, et son usage réduit l'étendue des déviations à lire sur l'échelle.

Nous avons vu que, lorsque les forces sont très petites, il y a entre la force et l'aimantation une relation définie de proportionnalité. Le rapport k (c'est la susceptibilité) est une constante définie. Si, au contraire, on dépasse certaines limites, il n'y a plus de relation fixe entre les quantités, et, si l'on conserve encore k, il en faut donner une nouvelle définition. Ce n'est pas seulement que k, tel qu'il a été d'abord défini, cesse d'être constant, c'est plutôt qu'il cesse d'exister. Sur ce point, l'expérience prononce de la façon la plus

claire. Il n'y a pas de courbe exprimant sans ambiguïté la relation de la force et de l'aimantation et qu'on puisse recouper au même point en marchant dans l'une ou l'autre direction ; dès que la ligne cesse d'être droite, elle cesse d'être unique. J'ai cru utile d'insister sur ce point, parce que le mot « fonction d'aimantation, » introduit par le Dr Stoletow, suggérerait plutôt une conclusion différente.

Les courbes données par Stoletow et par Rowland, après leurs célèbres recherches, ne sont pas exactement deux courbes d'aimantation, dans le sens le plus naturel du mot ; je veux dire par là qu'elles n'indiquent pas complètement l'état que prend une pièce de fer lorsqu'elle est soumise à une succession donnée de forces magnétiques. Mais Ewing a donné un certain nombre de ces courbes qui fournissent tous les renseignements généraux nécessaires. Parmi ces courbes, nous distinguons surtout celle qui représente l'état du fer passant d'une aimantation positive énergique à une aimantation négative énergique, et *vice versa*, puis celle du fer qui part de l'état neutre et s'aimante pour la première fois sous l'action d'une force constamment croissante.

Ewing appelle l'attention sur les *boucles* auxquelles donne lieu, dans ces courbes, la variation des forces suivant un cycle (pas trop petit) de forme quelconque.

« Chaque boucle du diagramme, dit-il, prouve qu'au moment où, dans ses variations, la force magnétisante passe de la diminution à l'accroissement, ou *vice versa*, le magnétisme commence par varier d'une façon très lente relativement à la variation de $\mathfrak{H}$ (la force), quelle qu'ait été auparavant la rapidité de ses variations en sens contraire ; à tel point que, lorsque les courbes

sont tracées à une échelle telle que celle de la figure, elles semblent partir tangentiellement à une parallèle à l'axe de $\mathfrak{H}$, toutes les fois que la variation de $\mathfrak{H}$ change de signe. »

La question soulevée ici au sujet de la direction de la courbe, après un maximum ou un minimum de la force, est de la plus grande importance. S'il était rigoureusement vrai que cette direction fût parallèle à l'axe, il s'ensuivrait d'une manière générale que le fer, dans n'importe quelle condition d'aimantation, ne serait pas influencé par de petites variations périodiques de la force magnétique. Ainsi, dans beaucoup d'expériences téléphoniques, le fer n'accuserait aucune propriété magnétique. Les expériences déjà détaillées prouvent que, lorsque la force et l'aimantation totales sont petites (elles n'étaient point pratiquement nulles), des changements d'aimantation proportionnels et très sensibles accompagnent de petits changements de la force, le rapport de proportionnalité répondant à une perméabilité peu inférieure à 100. Rien n'est plus aisé que de montrer que cette conclusion n'est pas restreinte seulement à des forces et à des aimantations moyennes très faibles. Pour ce qui concerne ces dernières, nous pouvons appliquer et retirer une force de 5 $\mathfrak{H}$. Cette opération laisse le fer dans un état magnétique différent, et le zéro du magnétomètre est déplacé probablement assez pour que le *spot* lumineux sorte de l'échelle. Mais, si nous ramenons l'aiguille à l'aide des aimants extérieurs, nous pouvons examiner comme auparavant l'effet obtenu par l'application d'une petite force (inférieure à $\frac{1}{5}\mathfrak{H}$). Si cette force est de sens contraire à la grande force précédemment appliquée, elle produit, malgré la bobine compensatrice, un effet très

sensible; car, dans ce cas, le mouvement allant de 0 à $-\frac{1}{5}\mathfrak{H}$ est la continuation du mouvement antérieur de 5 $\mathfrak{H}$ à 0. Aucun effet appréciable n'est plus produit sur l'aiguille par des applications et des suppressions ultérieures de la force $\frac{1}{5}\mathfrak{H}$, ainsi qu'il serait arrivé dès le début si la petite force avait agi dans le sens positif. Nous pouvons conclure de là que la compensation qui convient pour de petites forces, lorsque le fer est à peu près exempt de toute aimantation, n'est pas modifiée par la présence d'un magnétisme résiduel considérable.

Pour examiner l'effet d'une faible variation en plus ou en moins, lorsque la force totale est relativement grande, nous pouvons soit introduire une seconde hélice magnétisante, soit déterminer la variation de courant par quelque autre moyen que de rompre le circuit. Ce que j'ai trouvé de plus commode a été tout simplement de faire varier la résistance débouchée dans la boîte, en m'arrangeant de façon qu'il suffit d'introduire ou de retirer une seule cheville pour obtenir la variation de courant voulue.

Pour avoir la variation correspondante du courant, on n'avait qu'à se reporter à un tableau des nombres et de leurs inverses; il a été établi aussitôt que, dans les limites admissibles du fonctionnement de l'appareil, la compensation était tout aussi efficace, que la variation, toujours inférieure à $\frac{1}{5}\mathfrak{H}$, se produisît à partir de zéro ou à partir d'une force 5 $\mathfrak{H}$, vingt ou trente fois plus grande que la variation même. Il est à peine nécessaire de répéter qu'il y a exception pour la première déviation, lorsqu'elle se produit dans le même sens que le mouvement considérable qui la précède.

Parvenu à ce point de nos recherches, on remplaça

la première bobine magnétisante, qui avait été disposée pour l'étude des forces les plus faibles, par une autre bobine placée à une plus grande distance de l'aiguille suspendue. Lorsque la partie variable du magnétisme du fer ne varie pas exactement en proportion de la force, le pôle agissant est sujet à se déplacer, et c'est là un défaut du dispositif horizontal adopté dans les premières expériences. L'hélice fut donc placée verticalement, et la partie inférieure du noyau de fer descendait un peu au-dessus du plan de l'aiguille du magnétomètre. L'autre pôle était assez éloigné pour que son action fût relativement faible. La longueur de cette nouvelle hélice, enroulée comme l'autre sur un tube de verre, est d'environ 30 centimètres. Il y a quatre couches de fil et 65 tours par centimètre; de sorte qu'avec le même courant la force magnétisante est à peu près double de celle qu'on avait auparavant. La résistance est de $4^{\omega},75$.

Un grand nombre d'observations ont été faites sur un noyau de fer de Suède assez aigre, de $3^{mm},3$ de diamètre; on reconnut qu'on pouvait se servir de la même bobine compensatrice qu'auparavant; les dispositions ne furent donc pas changées, sauf qu'on introduisit une seconde clef d'inversion permettant d'inverser les pôles de l'élément Daniell. La résistance totale du circuit, résistance de caisse non comprise, était de 7ω. La longueur du noyau, ou plutôt de la partie de noyau soumise à la force magnétisante, était d'environ 100 diamètres, ce qui ne saurait suffire pour une détermination exacte; mais, de l'observation de la position à donner à la bobine compensatrice, on peut déduire au moins une évaluation grossière de la susceptibilité sous l'action de petites forces. Ainsi, le

28 décembre, j'ai obtenu la compensation pour de petites forces, lorsque les distances de l'aiguille au plan moyen de la bobine compensatrice et au pôle utilisé du noyau de fer étaient respectivement de $17^{cm},2$ et de $9^{cm},3$. La force magnétique développée sur l'aiguille, pour l'unité de courant passant dans la bobine compensatrice, est

$$\frac{2\pi \times 74 \times 9^2}{[9^2 + (17,2)^2]^{\frac{3}{2}}} = 5,15;$$

la force magnétisante à l'intérieur de l'hélice, pour l'unité de courant, est

$$4\pi \times 65 = 817.$$

Si k est la susceptibilité, la puissance du pôle est

$$\frac{1}{4}\pi \times (0,330)^2 \times 817 \times k,$$

et, puisque la distance de ce pôle à l'aiguille est de $9^{cm},3$, nous avons, pour déterminer k,

$$k = \frac{5,15 \times (9,3)^2}{\frac{1}{4}\pi \times (0,330)^2 \times 817} = 6,36;$$

dès lors

$$\mu = l + 4\pi k = 81.$$

Cette valeur est probablement au-dessous de la valeur réelle.

Pour obtenir des résultats comparables avec ceux de Stoletow et de Rowland, le fer fut soumis à une série de cycles, de forces tantôt positives, tantôt négatives. D'après Ewing, les choses sont les plus simples lorsque le fer est d'abord soumis à une *désaimantation par renversements*. On y procède *sur place*, comme préliminaire aux expériences du 4 janvier, faisant croître peu à peu la résistance de caisse de quelques ohms à un millier d'ohms, et inversant les pôles de la pile plu-

sieurs fois pour chaque valeur de la résistance. On doit remarquer cependant que, le fer ayant été tout le temps sous l'influence de la composante verticale terrestre, l'état final n'était certainement pas un état de désaimantation; mais, même ainsi conduite, l'opération était sans doute encore avantageuse, en ce qu'elle atténuait l'influence des états antérieurs du noyau de fer.

On établit d'abord la compensation de façon qu'il n'y eût aucun déplacement appréciable, que la résistance fût infinie ou égale à 2007 ω (*). Cette compensation, d'ailleurs, avait lieu pour la position de la clef à inversion, marquée (—). Lorsque le fer et la bobine compensatrice agissaient dans la même direction (+), le déplacement était de 8^{div}.

Dans le tableau 1, la première colonne donne la résistance totale du circuit en ohms; la seconde donne les inverses de la première, c'est-à-dire des nombres proportionnels à l'intensité du courant ou à la force magnétisante. Pour plus de commodité dans les comparaisons, on a porté sur la même ligne horizontale les valeurs correspondant à la répétition du même cycle :

Résistance	Courant	Lectures corrigées			
∞	0	240,00	»	»	»
1.007 R	+ 099	241,00	»	»	»
∞	0	241,00	»	»	»
1.007 L	— 099	240,00	»	»	»
∞	0	240,08	»	»	»
507 R	+ 197	242,00	241,50	»	»
∞	0	241,25	241,00	»	»
507 L	— 197	238,50	238,25	»	»
∞	0	239,00	239,00	»	»
307 R	+ 326	245,00	245,00	»	»
∞	0	.....	243,00	»	»
307 L	— 326	235,00	235,00	»	»
∞	0	237,00	237,00	»	»

(*) Pour plus de simplicité, on avait eu recours à l'emploi de la *méthode de multiplication*, avec un pendule, comme nous l'avons déjà décrit.

Résistance	Courant	Lectures corrigées			
207 R	+ 483	250,50	250,25	»	»
∞	0	246,00	246,00	»	
207 L	— 483	228,00	228,00	»	
∞	0	232,50	232,50	»	»
107 R	+ 934	283,25	283,75	284,00	
∞	0	264,50	264,50	265,00	
107 L	— 934	195,25	195,25	195,25	
∞	0	214,00	214,00	213,50	
87 R	+1149	306,50	307,50	307,00	
∞	0	276,75	276,75	277,00	
87 L	—1149	172,25	171,25	171,25	»
∞	0	201,50	201,00	201,00	»
177 R	+ 565	.....	238,50	»	»
77 R	+1298	325,75	325,75	»	»
177 R	+ 565	.....	315,50	»	»
∞	0	286,25	286,00	»	»
177 L	— 565	»	237,50	»	»
77 L	—1298	151,50	150,75	»	»
177 L	— 565	»	160.00	»	»
∞	0	190,50	188,75	»	»
167 R	+ 599	.....	»	232,50	232,25
67 R	+1493	325,75	353,00	353,50	353,75
167 R	+ 599	.....	.....	337,50	338,75
∞	0	299,00	299,50	300,00	301,50
167 L	— 599	.....	.....	241,50	»
67 L	—1493	121,75	121,25	121,25	»
167 L	— 599	.....	.....	136,00	»
∞	0	174,75	174,50	173,50	»

Ainsi, la première application du courant + 197 donna la lecture 242 ; une deuxième application du même courant après le cycle : + 197 — 0, — 197 — 0 donna 241,5. Lorsque deux de ces cycles eurent été complétés, le courant + 326 donna la lecture 245. Les lectures portées au tableau sont corrigées d'une très minime correction pour les ramener à des arcs infiniment petits. Les lettres R et L, dans la première colonne, indiquent les positions inverses de la clef d'inversion de pile. On voit qu'on obtient très approximativement les mêmes nombres lorsqu'on parcourt à nouveau un même cycle, et que même la première application d'une force accrue donne un résultat normal.

La question qui se pose maintenant est de savoir quelle

loi lie la grandeur d'un courant à la variation de l'aimantation provoquée par le renversement de ce courant. Les quantités en cause se trouvent au tableau II, dont la première colonne donne le courant x, et la deuxième le déplacement y, dû au changement de sens du courant.

La relation de x et y est bien représentée par la formule

$$y = -0{,}0053x + 1{,}072x^2,$$

dont le second membre dans son ensemble est porté à la cinquième colonne, et les deux termes séparément aux troisième et quatrième colonnes ; la sixième colonne donne les différences entre les déplacements observés et les déplacements calculés d'après la formule ; ces différences ne dépassent pas de beaucoup l'ordre des erreurs d'observation.

On pourrait peut-être penser que l'aimantation mise ici en évidence vient s'ajouter à celle dont les effets sont compensés par la bobine, et que l'existence du petit terme linéaire doit être attribuée au réglage imparfait de cette bobine. La valeur de y calculée pour une variation de résistance s'étendant de l'infini à 2007 ω, soit un quart de la première variation portée à la table (de 1007 R à 1007 L), est

$$y = -0^{\text{div}},13 + 0^{\text{div}},06 = -0^{\text{div}},07.$$

Telle est la variation pour laquelle la bobine a été réglée, et la différence entre la valeur calculée et la valeur observée de y (zéro) est peut-être aussi petite qu'on pouvait l'espérer. Il est permis d'en conclure que, si la bobine compensatrice avait pu être parfaitement réglée pour une très petite variation (la variation actuelle ne saurait être considérée comme assez petite), les effets non compensés que des courants plus

considérables rendent appréciables auraient pu s'exprimer par un terme quadratique seulement.

Les courants (x) donnés dans les tables se ramènent aux unités C.G.S., en divisant par 10^6. Dans le même système d'unités, la force magnétisante est

$$8{,}2 \times 10^{-4} \times x,$$

en sorte que la force due au courant le plus énergique mentionné au tableau est de 1,2 G.G.S., ou de 7H environ. Lorsque le courant est renversé, le changement de la force magnétique est évidemment le double de cette quantité.

Pour étendre la définition de cette susceptibilité aux cas où la force n'est pas très petite, nous pourrons procéder de plusieurs manières. En prenant le rapport du changement d'aimantation au changement de force, lorsque le sens de force est renversé, nous avons pour nous de bonnes autorités, et nous parvenons à une définition qui concorde avec la définition obligatoire dans le cas des petites forces. Les valeurs de k correspondant à différentes forces, ne sont pas données par une comparaison directe des nombres de la table II, puisque l'échelle du magnétomètre est arbitraire ; mais nous pouvons trouver pour quelle force la susceptibilité est, par exemple, double de celle qui se rapporte aux forces infiniment petites.

TABLE II.

Courant x	Déplacement y	$0{,}0053\,x$	$1{,}072\,x^2$	$-0{,}0053x + 1{,}072x^2$	Différence
99	1,00	0,52	1,05	0,5	+0,5
197	3,25	1,00	4,20	3,2	0
326	10,00	1,70	11,40	9,7	+0,3
483	22,25	2,60	25,00	22,4	−0,2
934	88,50	4,90	93,70	88,8	−0,3
1149	136,00	6,10	142,50	135,4	+0,6
1298	174,00	6,90	180,60	173,7	+0,3
1493	231,00	7,90	238,90	231,0	

A cet effet, remarquons que les effets réunis de la bobine compensatrice et de l'aimantation due au courant 50, qu'on faisait passer ou qu'on supprimait simplement, étaient de 8^{div}, dont moitié due à chaque cause.

L'effet de la bobine, pour une inversion du courant 50, est donc de 8^{div}, et, comme cet effet est proportionnel au courant, on peut le déduire de là pour tout autre cas. A la fin de la table, le courant est égal à 1493 ; le déplacement compensé par la bobine est donc d'environ 240^{div}; et, puisque à ce moment, le déplacement non compensé a à peu près la même valeur, nous voyons que la valeur de k (définie comme ci-dessus) est doublée. Donc, si $\mathfrak{H}$ est la force magnétisante en unités C.G.S., nous aurons

$$k = 6{,}4(1 + 0{,}8\,\mathfrak{H}).$$

La forme de la relation entre k et $\mathfrak{H}$ pour de petites forces est assez exactement établie par les observations. D'un autre côté, la réduction en unités absolues est assez grossière, et, selon toute probabilité, le nombre 6,4 applicable quand $\mathfrak{H} = 0$ est trop faible. C'est là, d'ailleurs, un point de médiocre importance, puisqu'on peut s'attendre à voir les constantes varier pour chaque échantillon et chaque état du fer.

La table I donne beaucoup d'autres observations que celles des variations extrêmes d'aimantation dues au renversement de la force. Pour tous les cas, on a enregistré les deux aimantations résiduelles pour une force nulle, et, pour les deux derniers, où la variation totale est la plus étendue, on a noté des points intermédiaires. Si on les représente par des courbes, on voit que ces courbes reviennent en arrière horizonta-

lement après chaque maximum ou minimum de force. Des observations spéciales, qui ne sont pas consignées dans la table, ont été faites à ce sujet ; et, ni pour les zéros, ni pour les maxima de la force, rien n'indiquait que la compensation fût en défaut quand on produisait un petit mouvement en arrière.

Les courbes ne diffèrent pas beaucoup de paraboles ; et dans d'autres cas, où les forces magnétiques appliquées étaient toutes de même signe, j'ai trouvé que, après un mouvement considérable dans une direction, la courbe représentant un mouvement en sens contraire coïncide assez exactement avec une parabole, dont les dimensions restent à peu près les mêmes dans les diverses circonstances, dont l'axe est vertical et dont le sommet coïncide avec le point où commence le mouvement en arrière. Le lecteur n'oubliera pas que, pour obtenir les vraies courbes qui expriment complètement la relation de la force et de l'aimantation, il faut ajouter l'effet proportionnel à la force, qui est masqué par la bobine compensatrice.

En partant de cette loi parabolique, nous pouvons calculer l'influence de l'hétérogénéité dans l'aimantation du fer sur la self-induction apparente et la résistance du circuit magnétisant, dans le cas de courants périodiques de faible intensité. Si nous partons de l'état moyen, nous pouvons exprimer la relation entre les changements extrêmes de l'aimantation et de la force à l'aide de la formule

$$\mathfrak{J}' = \alpha \mathfrak{H}' + \beta \mathfrak{H}'^2, \quad \ldots,$$

où α et β sont des constantes correspondantes aux coefficients 6,4 et $6{,}4 \times 0{,}8$ de l'exemple donné plus haut. Mais il n'y a plus de formule unique exprimant la loi

pour le reste du cycle. Lorsque $\mathfrak{H}$ diminue de $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}'$ à $\mathfrak{H} = -\mathfrak{H}'$, on a

$$\mathfrak{I} = \alpha\mathfrak{H} + \beta\mathfrak{H}'^2\left[1 - \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{H}'}\right)^2\right].$$

Mais lorsque $\mathfrak{H}$ croît de $-\mathfrak{H}'$ à $+\mathfrak{H}'$, on a

$$\mathfrak{I} = \alpha\mathfrak{H} + \beta\mathfrak{H}'^2\left[-1 + \frac{1}{2}\left(1 + \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{H}'}\right)^2\right].$$

Ces expressions sont les mêmes pour les limites $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}$ et $\mathfrak{H} = -\mathfrak{H}'$, mais elles diffèrent pour les points intermédiaires. Puisque la force est supposée périodique, nous pouvons écrire

$$\mathfrak{H} = \mathfrak{H}'\cos\theta;$$

d'où posant aussi, pour abréger, α' pour $\alpha\mathfrak{H}'$ et β' pour $\beta\mathfrak{H}'^2$, il vient

$$\mathfrak{I} = \alpha'\cos\theta + \beta'(\cos\theta + \tfrac{1}{2}\sin^2\theta)$$

de $\theta = 0$ à $\theta = \pi$, et

$$\mathfrak{I} = \alpha'\cos\theta + \beta'(\cos\theta - \tfrac{1}{2}\sin^2\theta)$$

de $\theta = \pi$ à $\theta = 2\pi$.

Nous devons maintenant exprimer $\mathfrak{I}$ pour le cycle complet au moyen d'une série de Fourier, en les sinus et cosinus de θ et de ses multiples. La partie

$$\alpha'\cos\theta + \beta'\cos\theta,$$

qui est commune aux deux expressions, est déjà de la forme cherchée. Pour l'autre partie, nous avons

$$\pm\tfrac{1}{2}\sin^2\theta = B_1\sin\theta + B_3\sin 3\theta + B_5\sin 5\theta + \ldots,$$

où ne paraissent que des termes impairs, B_n étant donné par

$$B_n = -\frac{4}{\pi n(n^2 - 4)},$$

d'où

$$\mathfrak{I} = (\alpha'+\beta')\cos\theta + \beta'\left(\frac{4}{3\pi}\sin\theta - \frac{4}{15\pi}\sin 3\theta - \frac{4}{105\pi}\sin 5\theta - \dots\right).$$

Si la variation de l'aimantation est très faible, β' s'annule et l'effet du fer sur le circuit environnant est simplement d'augmenter la self-induction; mais, si β' a une valeur finie, le cas est moins simple. Les termes en $\sin 3\theta$, $\sin 5\theta$, montrent que les effets produits par le fer soumis à une force harmonique ne sont pas toujours purement harmoniques, mais peuvent demander pour leur expression l'intervention de termes d'ordre plus élevé. Si nous laissons ces termes hors de compte, comme étant relativement faibles, nous devons, cependant, regarder la période de $\mathfrak{I}$ comme différente de celle de $\mathfrak{H}$. Le terme en $\sin\theta$ lui-même figure un accroissement apparent de la résistance de la bobine due à l'*hétérogénéité*, et indépendant de celui que l'on peut observer même avec de très petites forces et qui est la conséquence des courants induits dans la masse du fer. On doit prévoir que l'augmentation de résistance dont nous nous occupons actuellement est tout à fait insensible, lorsque la plus grande valeur de la force magnétisante ne dépasse pas le $\frac{1}{10}$ de la composante horizontale terrestre.

Dans la détermination absolue de la susceptibilité pour de très petites forces du fil de fer de Suède aigre (de 3,3 millimètres de diamètre), la longueur (100 diamètres environ) n'était guère suffisante pour permettre une évaluation exacte. Des expériences semblables. faites sur un fil plus mince ($1^{mm},57$ de diamètre), de la même qualité de fer, donnèrent la valeur $k = 6,85$ correspondant à $\mu = 87$: ceci s'appliquant au fil non recuit.

Après le recuit, le même morceau de fil donnait un résultat plus élevé, mais alors l'observation se compliquait par ce fait que le passage à l'état d'aimantation exigeait un temps appréciable. La susceptibilité correspondant à l'état final atteint la valeur 22,0, plus de trois fois supérieure à ce qu'elle était avant le recuit. Mais un nombre moindre représente mieux les faits, si la petite force magnétique varie suivant une période rapide; et même il se pourrait bien que, sous l'influence de forces variant aussi rapidement que celles des expériences téléphoniques, la plus grande partie de la différence due au recuit disparût entièrement. Cette conclusion est suggérée par la faible influence du recuit dans l'expérience précédemment décrite, où l'on détermine l'accroissement de résistance qui résulte pour un fil de fer de la concentration d'un courant variable dans les couches extérieures. Mais ce sujet demande une étude plus approfondie, dans de meilleures conditions expérimentales.

On a vu la sensibilité de l'aiguille du magnétomètre dans les expériences faites pour prouver la constance de la susceptibilité en présence de petites forces; on est ainsi conduit à se demander si l'on peut se servir de fer, quand on n'a en vue qu'une opération galvanométrique. J'ai essayé, sans grand succès, d'obtenir un galvanomètre sensible, en suspendant un miroir et une aiguille entre les pièces polaires coniques d'un grand électro-aimant, disposées comme pour les expériences de diamagnétisme. Un meilleur résultat fut obtenu avec un système astatique et un électro-aimant de dimensions beaucoup moindres.

Cet électro-aimant avait la forme d'un fer à cheval, le noyau étant formé de fil de fer aigre de Suède, de

$3^{mm},3$ de diamètre. Le fil de cuivre isolé se composait de trois couches, d'une résistance de $0^{\omega},34$; l'électro-aimant pesait en tout 283 grammes et était disposé de manière à embrasser l'aimant supérieur du système. Quand la durée d'oscillation de l'aiguille entre deux passages au zéro était de quatre secondes, la déviation, pour un courant d'environ $\frac{1}{20000}$ d'ampère, était de 100 divisions. Le zéro était assez fixe pour qu'on pût observer, avec assez de certitude, une déviation d'une demi-division à chaque essai; en sorte que, dans les conditions où il était employé, cet appareil était sensible à un courant de $\frac{1}{4} \times 10^{-6}$ ampères. L'addition d'un électro-aimant similaire embrassant le système de l'aiguille inférieure et disposé en série doublerait la sensibilité et porterait la résistance à $0^{\omega},68$. Un galvanomètre ainsi construit et de résistance égale à 1^{ω} décèlerait un courant de 10^{-7} ampères. Avec un fil plus fin, nous pourrions espérer obtenir un instrument ayant 100^{ω} de résistance et sensible à un courant de 10^{-8} ampères, et ainsi de suite.

Pour la comparer à ces résultats, je cherchai, en suivant autant que possible la même marche, quelle était la sensibilité d'un bon galvanomètre astatique de Thomson, de $1^{\omega},3$ de résistance. A la même durée d'oscillation, un courant de $\frac{1}{20000}$ d'ampère produisait un déplacement de 300 divisions.

Le zéro était peut-être un peu plus fixe que dans le cas précédent, mais on voit que la sensibilité était du même ordre de grandeur. Dans les deux cas, en prenant des précautions et procédant par répétition, on aurait augmenté, peut-être décuplé la sensibilité.

Ces expériences montrent qu'il n'est pas difficile de construire ainsi un galvanomètre d'une grande sen-

sibilité. D'après la théorie, on pourrait atteindre avec du fer idéal, présentant une perméabilité 100, une bien plus grande sensibilité que sans fer. Mais la tendance à conserver du magnétisme résiduel causerait certainement des difficultés et probablement annulerait, dans la pratique, la plupart des avantages résultant de la plus grande perméabilité, laquelle permet de faire agir utilement des tours de fil plus éloignés des aiguilles. On peut indiquer encore un autre inconvénient. Si les pôles du fer sont tout à fait rapprochés des aiguilles, la tendance à l'instabilité est très forte, même pour de faibles angles de déplacement.

Les expériences déjà décrites prouvent, d'une façon concluante, que la façon dont le fer et l'acier se comportent en présence de forces magnétiques périodiques faibles n'est point modifiée par la présence d'une force constante ou d'un magnétisme résiduel de moyenne intensité. En même temps, il a paru tout à fait probable au plus haut degré que leur indépendance n'était pas complète, et que la modification due à un faible changement de la force devenait moins importante à mesure qu'on se rapproche de l'état de saturation, lors même que nous admettons, conformément aux expériences récentes, que la saturation ne saurait être atteinte que d'une façon très grossière. La question était trop importante pour la laisser indécise; mais il était difficile de la traiter par la méthode magnétométrique. Car, si le dispositif est assez sensible pour mesurer avec assez d'exactitude l'effet de la petite force, il est violemment troublé quand se présentent de hauts degrés d'aimantation. De plus, il n'est pas désirable d'avoir à compter, autant que dans cette méthode, avec ce qui se passe au voisinage des extré-

mités libres de la tige de fer, où les forces magnétiques doivent varier rapidement. La « méthode balistique », dans laquelle les changements d'aimantation sont indiqués par l'impulsion de l'aiguille d'un galvanomètre relié avec un circuit secondaire qui entoure la partie centrale de la tige, présente, dans ce cas, le grand avantage que la lecture est indépendante de l'état ordinaire du fer. Dans les premières expériences faites avec cette méthode, l'hélice magnétisante était semblable à une de celles qui ont déjà été décrites, et les modifications, petites ou grandes, de la force étaient obtenues en faisant varier la résistance du circuit. Par un choix convenable des résistances de caisse, on pouvait obtenir de petites variations de courant avec une promptitude suffisante; il suffisait d'introduire ou de supprimer une cheville, et on les prenait du même ordre de grandeur dans différentes parties de l'échelle. En comparant leurs effets à l'aide d'une table des nombres et de leurs inverses, on constata qu'une force totale ou une aimantation assez énergique (allant jusqu'à 6 C. G. S. pour du fer de Suède de $3^{mm},3$ non recuit) n'a qu'une influence médiocre, au point de vue de l'effet produit sur le fer, par une force donnée de faible grandeur. Cette disposition ne permettait guère de poursuivre l'étude plus loin, en faisant agir des forces magnétisantes plus énergiques. Car, si, dans le but d'augmenter le courant, nous réduisons trop la résistance des caisses, l'évaluation de la résistance totale dépend trop de la résistance de la pile, et l'intensité devient incertaine. On sort de cette difficulté en employant deux fils : l'un qui transmet le courant intense, dont la mesure n'a pas besoin d'être très exacte ; l'autre qui transmet le courant faible dont

on doit examiner l'effet pour différentes valeurs de l'aimantation.

Pour obtenir un rapport convenable de la longueur au diamètre, sans subir la perte de sensibilité qui résulterait d'une diminution sur la section du fer, on prépara une hélice de $59^{cm},6$ de long. Cette hélice était enroulée sur un tube de verre en formant trois couches de fil double; le nombre total de tours, pour chaque fil, était de 1376. La force magnétisante due à l'unité de courant passant dans un des fils est donc

$$4\pi \frac{1376}{59,6} = 290,1.$$

La résistance de chaque fil est de $3^{\omega},2$; de cette façon, avec 2 éléments de Grove, reliés à un des fils, on disposait d'un courant d'environ 1 ampère (0,1 C.G.S.). On obtenait des intensités moindres en intercalant des résistances de caisse.

Quoique le circuit secondaire, relié avec un galvanomètre très délicat, contînt un nombre considérable de tours, la sensibilité ne permettait pas de prendre la petite force aussi faible que cela eût été désirable. On la produisait au moyen du second fil de l'hélice, qui formait circuit avec un daniell et une résistance de 200^{ω} prise dans une caisse. Lorsque le circuit était établi ou interrompu à la clef, la force mise en jeu ou supprimée était de

$$\frac{290,1}{2.040} = 0,14 \text{ C.G.S.}$$

Quand on faisait une série d'observations on avait l'habitude, après chaque variation de la force magnétisante principale, d'introduire et de supprimer la

petite force magnétisante plusieurs fois avant de prendre des lectures.

Les résultats obtenus par cette méthode avaient un caractère assez bien défini. La petite force produisait un effet constant sur un fil de fer de Suède non recuit de 3^{mm},3 de diamètre, jusqu'à ce que la force principale fût parvenue de 0 à 5 C.G.S. environ. Vers 10 C.G.S. environ, l'effet de la petite force diminua de 5 p. 100; et pour la force la plus considérable qu'on ait utilisée, 29 C.G.S. environ, l'effet était réduit à environ 60 p. 100 de sa valeur primitive. Quand on supprime complètement la force due aux éléments de Grove, on ne retrouve qu'en partie l'effet initial, par suite peut-être de l'aimantation résiduelle; mais, après que le fil a été retiré de l'hélice et bien soumis à des secousses, on constate que la petite force recouvre toute son efficacité.

Le fil étant alors recuit et soumis à nouveau à une série d'opérations semblables, on trouve que l'aimantation due à l'application et à la suppression alternatives de la petite force était tout d'abord (c'est-à-dire en l'absence de la force constante) deux fois plus grande qu'avant.

Mais cet accroissement ne se maintient pas longtemps, car une force permanente de 2 unités C.G.S. suffit déjà pour provoquer une diminution marquée (d'environ 20 p. 100). Sous l'action d'une force de 29 unités C.G.S., l'effet de la petite force tombe à $\frac{1}{6}$ environ de sa valeur initiale. En supprimant l'hélice et en soumettant l'appareil à des secousses dans un champ d'intensité magnétique nulle, le fil revient à son état primitif.

Des expériences semblables sur un fil non recuit en

acier à ressort extra n'ont pas donné de modification sensible pour des variations de la force permanente allant de 0 à 16 C. G. S.

Dans ce cas, le rapport de la longueur au diamètre était de 300 environ.

Nous pouvons donc maintenant considérer comme établi :

1° *Que, dans toute condition de force et d'aimantation, la susceptibilité pour de petites variations périodiques de la force est une quantité définie, qui n'est pas très petite et qui ne dépend pas de l'étendue de la petite variation.*

2° *Que la valeur de la susceptibilité pour de petites variations de la force est à peu près indépendante de l'état initial, en ce qui est de la force et de l'aimantation, et cela jusqu'au voisinage de la saturation.*

CHRONIQUE.

Sur des récepteurs radiophoniques à sélénium à grande résistance constante.

J'ai décrit dans les *Comptes rendus*, en 1881, une forme particulière de récepteur radiophonique à sélénium dans laquelle une très mince couche de sélénium est déposée pendant sa fusion sur la tranche de deux rubans minces métalliques séparés par une bande de papier.

Cette forme avait deux inconvénients : 1° il n'était guère possible de donner à la couche de sélénium une épaisseur uniforme et déterminée, de telle sorte que des appareils construits dans les mêmes conditions offraient des résistances électriques très variables dont on n'était pas maître; 2° la couche mince de sélénium s'écaillait assez facilement, d'où résultait un changement dans la résistance de l'appareil.

Dès 1881 j'essayai la disposition suivante, exempte de ces inconvénients.

Sur deux lames de laiton est enroulée une feuille de papier d'amiante : on les juxtapose ensuite et on les fixe à l'aide de deux petites traverses en ébonite ou en ivoire; puis, en se servant d'une vis à double filet, on enroule sur le bloc ainsi constitué deux fils de laiton ou de platine formant deux spirales parallèles séparées par un intervalle constant d'environ 1 millimètre : les bouts des spirales sont fixés aux deux lames de laiton. L'appareil est ensuite chauffé jusqu'à une température suffisante pour qu'un crayon de sélénium promené à la surface fonde sans difficulté, et dépose entre les deux fils une couche d'épaisseur déterminée, consolidée par eux, et reposant sur un fond d'amiante isolant. Le tout est placé au fond d'une boîte fermée par une lame de verre.

Un premier appareil de ce genre, construit par M. Duboscq,

en 1881, pour le laboratoire de l'École Polytechnique, a servi depuis ce temps à toutes sortes d'expériences radiophoniques. Il a conservé pendant six ans une constance remarquable dans ses effets; sa résistance électrique, d'environ 300.000 unités, ne varie pas.

D'autres appareils, construits depuis de la même manière, présentent la même résistance et la même stabilité. En faisant varier le pas de la double vis qui sert à enrouler les fils en hélice, on fait varier la résistance des appareils à volonté, mais il est difficile de la diminuer au-dessous de 100.000 unités.

Ce sont donc des récepteurs radiophoniques à grande résistance, destinés surtout à fonctionner dans le cas où le circuit extérieur de la pile qui les anime est lui-même très résistant. C'est ainsi qu'en produisant des sons radiophoniques dans un téléphone ordinaire intercalé dans un circuit comprenant une pile de quelques éléments Daniell et l'un des récepteurs ci-dessus, l'intensité de ces sons n'est pas sensiblement altérée lorsqu'on introduit dans le circuit des résistances de 10.000 à 20.000 unités : on obtient ainsi de bons effets, par exemple sur une ligne télégraphique de 800 kilomètres de longueur, ainsi que j'ai pu m'en assurer.

J'indiquerai prochainement l'application d'appareils de ce genre à la télégraphie multiple à grandes distances.

(*Comptes rendus*, 31 octobre 1887).

Statistique téléphonique.

New-York a 6.881 abonnés; Chicago, 4.577; Brooklyn, 3,297; Boston, 2.130; Baltimore, 2.105; Philadelphie, 2.420; Pittsburgh, 2.286; Providence, 2.417; Washington, 1.362; Buffalo, 1.767; Détroit, 2.585; Cincinnati, 2.900; Milwaukee, 1.732; Minneapolis, 1.387; Louisville, 1.661; Saint-Paul, 1.025; Nouvelle-Orléans, 1.148; New-Haven, 1.227; Albany, 1.258. Le nombre d'abonnés à New-York a doublé depuis 1882; il en est à peu près de même à Chicago.

Le nombre de communications par jour atteint 84.750 à New-York; 45.000 à Cincinnati; 44.292 à Chicago; 33.146 à Détroit; 19.275 à Baltimore; 18.492 à Pittsburgh; 17.508 à Brooklyn;

17.345 à Boston; 17.098 à Philadelphie; 16.000 à Minneapolis. Le nombre moyen de communications par jour et par abonné est de 15,5 à Cincinnati; 15,5 à Minneapolis; 13,0 à East Saginaw; 12,9 à Richmond; 12,8 à Détroit; 12,3 à New-York. Il n'était l'an dernier à New-Nork que de 6,5.

(*National Telephone Exchange Association.*)

Pylones hydro-électriques.

Les pylones de M. Julien Dulait, de Charleroi, se composent d'un socle, d'un mât élevé et d'une flèche en fer forgé supportant plusieurs foyers électriques, d'intensité variable, selon la hauteur du mât et les surfaces à éclairer.

Le socle renferme un appareil dit *dynamo-hydromoteur*, consistant en une turbine qui travaille par la pression des eaux de ville et d'une dynamo dont l'armature mobile est directement montée sur l'arbre du moteur. Deux atmosphères suffisent à la marche du moteur et le rendement est de 72 à 74 p. 100. Chaque pylone peut alimenter un ou plusieurs foyers à arc voltaïque, ou bien un lustre de lampes à incandescence. Chaque foyer est muni d'un dérivateur automatique qui intercale, au lieu et place du régulateur, un rhéostat d'égale résistance lorsque, pour une cause quelconque, le courant vient à être interrompu dans la lampe. Si la machine faisait défaut, un déclencheur agirait automatiquement et fermerait instantanément l'admission d'eau. Le moteur n'est donc jamais abandonné à lui-même, et il n'y a pas lieu de craindre de le voir s'emporter en fonctionnant à vide, ce qui pourrait conduire à sa destruction et à celle de la dynamo.

Le moteur est muni d'un régulateur compensateur destiné à lui conserver une vitesse absolument constante, quelles que soient les variations du travail électrique et celles de la pression d'eau. Dans ces conditions, la marche de l'appareillage ne nécessite pas de surveillance spéciale, d'autant plus que les foyers Dulait donnent la succession automatique de 2, 4, 6 et même 8 paires de crayons, et assurent ainsi une durée d'éclairage d'autant de fois 8 heures qu'il y a de paires de crayons.

A Liège, plusieurs de ces pylones sont installés au parc

d'Avroy. Ils sont de 3.500 bougies; les dynamos donnent 27 ampères et la durée des lampes est de 16 heures. La pression hydromotrice est de 4 1/2 atmosphères.

A Bruxelles, on placera deux pylones Dulait à l'entrée de l'Exposition. Ces pylones, de 25 mètres de hauteur, auront une intensité de 500 carcels chacun. Leur construction sera entreprise sous peu, car ils sont également destinés à fournir l'éclairage des travaux qui se poursuivent avec une grande activité au Champ de Manœuvres.

(*Bulletin international de l'Électricité*, 5 septembre).

Crayons en zirconium pour lampes à arc.

Les développements considérables réalisés aux États-Unis par l'industrie de la fabrication des crayons pour lampes à arc, a conduit les inventeurs à rechercher une substance plus avantageuse pour cet usage que le charbon. M. Clingman a fait dernièrement des expériences avec des crayons de zirconium qui semblent promettre de bons résultats.

Le moulage du zirconium s'opère, paraît-il, sans difficulté, et les crayons ainsi fabriqués ont une durée plus grande que celle obtenue actuellement avec le charbon; ils pourraient, assure-t-on, fournir un éclairage de plusieurs mois sans qu'on eût besoin de les changer. On annonce que l'inventeur étudie son procédé pour le mettre en rapport avec les besoins de l'industrie.

(*Bulletin international de l'Électricité*, 5 septembre).

Fabrication des ressorts de montre.

Le courant électrique est appliqué dans les ateliers de la compagnie Sedgwick, à Chicago, pour tremper les ressorts de montre. L'opération, d'ailleurs fort simple, donne, paraît-il, de bons résultats.

Le fil plat d'acier à tremper au bleu est introduit entre les extrémités de deux tiges reliées aux pôles d'une petite machine

dynamo, l'une de ces tiges plongeant dans une cuve ordinaire d'huile à tremper et l'autre étant en dehors de cette cuve; le fil se trouve ainsi sur le passage du courant qui l'échauffe. On ne s'occupe pas de régler l'intensité de celui-ci, à cause de la proportion variable du carbone contenu dans l'acier; des longueurs égales de fil bien calibré demandent des quantités inégales de chaleur pour être portées à la température convenable, et c'est à l'œil seulement, par la coloration du métal, qu'on peut apprécier le moment où il est prêt à être trempé. On n'a plus alors qu'à le faire passer dans le bain d'huile, ce qui se fait instantanément.

Cette manière d'opérer supprime toute oxydation du métal à l'air, car l'échauffement et la trempe s'exécutent à la vitesse de 10 centimètres de fil par seconde. En outre, on a moins à craindre les altérations de section ou les irrégularités de la trempe. Aussi les ressorts fabriqués de cette manière jouissent-ils d'une grande faveur dans les ateliers d'horlogerie américains.

Nos compatriotes ne manqueront certainement pas d'essayer un procédé aussi simple et aussi avantageux.

(*Bulletin international de l'Électricité*, 3 octobre.)

La Télégraphie et les fêtes du Jubilé en Angleterre.

Le nombre de télégrammes transmis par le *General Post Office* le 16 juin a été de 102.032; le 17 juin, 111.000, et le 20 juin, veille du Jubilé, 124.291. Le plus grand nombre journalier de télégrammes expédiés avant cette période n'a jamais atteint 90.000.

De Londres à Londres, le nombre de télégrammes transmis a été de 30.597, soit le double du trafic le plus considérable qui ait jamais été constaté précédemment.

(*Électricien.*)

Le Gérant : DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1887 Novembre-Décembre

NOTE

SUR LES

EFFETS D'UNE DÉCHARGE ATMOSPHÉRIQUE

A TRAVERS DES APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES

On possède relativement peu de données précises au sujet de la durée des décharges atmosphériques, de leurs lois et de leurs effets. En leur appliquant les lois des courants permanents et notamment la loi d'Ohm, on arriverait à des conclusions en contradiction absolue avec les effets constatés. Ainsi, la foudre éclate souvent dans l'air entre deux points situés à une certaine distance et qui sont cependant reliés par une communication métallique directe. Un paratonnerre d'édifice peut devenir très défectueux si sa tige est amincie considérablement, sans que sa résistance métallique dépasse quelques centaines d'ohms ; tandis

qu'une solution de continuité, qui rendrait sa résistance extrêmement grande, peut très bien ne pas l'empêcher de fonctionner d'une manière excellente. D'une manière générale, la foudre suit de préférence entre deux points les corps, bons ou mauvais conducteurs, qui lui offrent la section la plus large et le chemin le plus rapproché de la ligne droite. C'est sur cette propriété qu'est fondée la construction des paratonnerres de poste destinés à protéger les appareils télégraphiques.

Les contradictions auxquelles conduit l'application pure et simple de la loi d'Ohm disparaissent si l'on tient compte : d'une part des phénomènes de self-induction qui, comme on le sait, se produisent dans l'état variable des courants ; et, d'autre part, de la nature spéciale de la résistance opposée par l'air ou d'autres isolants au passage de l'électricité. Pour calculer d'une manière complète l'effet de la décharge entre deux points, il faudrait, il est vrai, posséder des données que nous n'avons point et savoir, par exemple, suivant quelle loi, pendant la durée extrêmement courte du phénomène, la différence de potentiel entre ces points croît d'abord jusqu'à son maximum pour descendre ensuite jusqu'à zéro. Mais, sans faire aucune hypothèse à cet égard, on peut dégager quelques résultats intéressants et se rendre compte, même numériquement dans certaines limites, de la nature et de la grandeur des effets que peut produire une décharge sur certains appareils et du degré d'efficacité des paratonnerres. Nous nous proposons, dans cet article, de donner quelques exemples qui pourront servir pour traiter d'autres cas semblables.

DÉCHARGE A TRAVERS UN ÉLECTRO-AIMANT.

Considérons un électro-aimant B (*fig.* 1) intercalé, entre les points M et N, sur un circuit LP, et supposons qu'une décharge atmosphérique arrive dans le

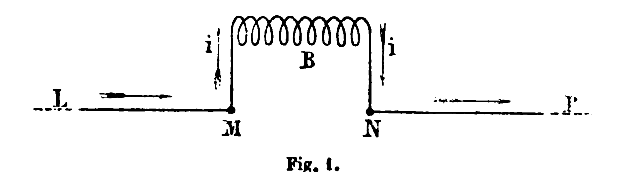


Fig. 1.

sens LP. Soit v l'excès du potentiel de M sur celui de N à un instant t quelconque. Si R et L désignent la résistance et le coefficient de self-induction de la bobine B, i l'intensité variable du courant, on sait que l'on a

$$(1) \qquad Ri + L\frac{di}{dt} = v,$$

la force électromotrice de self-induction étant $-L\frac{di}{dt}$.

Cette équation, intégrée à partir du commencement de la décharge, que nous prendrons pour origine du temps, devient :

$$(2) \qquad R\int idt + Li = \int vdt = u,$$

u désignant, par abréviation, $\int vdt$.

Examinons d'abord le cas le plus simple, celui où l'intensité de la décharge, nulle d'abord, croît jusqu'à un certain maximum, puis décroît jusqu'à zéro. Le coup de foudre qui frappe le conducteur L n'a qu'une durée extrêmement courte θ ; mais, lorsqu'elle a cessé,

le courant i, au lieu de s'annuler brusquement, se prolonge encore un certain temps en raison de l'énergie électrique accumulée dans la bobine B et qui disparaît graduellement. Au début, l'excès de potentiel v est de même signe que le courant i auquel il donne lieu, positif par exemple. Vers la fin, au contraire, puisque c'est la force électromotrice de self-induction de la bobine qui entretient le courant, celui-ci allant de la borne N vers M par le circuit extérieur, il en résulte que v est négatif. La variation de v en fonction du temps est donc représentée par une courbe de la forme $OVAV_1v$... (*fig.* 2).

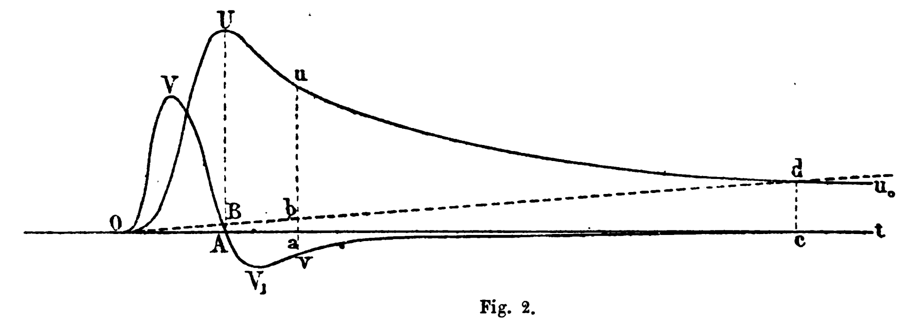


Fig. 2.

La courbe $OUudu_0$ représente la variation de $u = \int v dt$. Son ordonnée maximum U correspond à l'époque $t = OA$ à laquelle $v = 0$. La valeur de u tend, comme le montre la formule (2), vers la limite :

$$u_0 = R \int i dt,$$

$\int i dt$ représentant la quantité totale d'électricité qui a traversé la bobine, puisqu'à la fin le terme Li est nul.

$\int idt$ étant constamment positif, la formule (2) montre que Li est inférieur à u. Il en résulte que $\int Lidt$ est inférieur à $\int udt$, d'où :

$$Li = u - R\int idt > u - \frac{R}{L}\int udt.$$

On a donc deux limites entre lesquelles est compris Li. La limite inférieure peut *à fortiori* être remplacée par : $\left(u - \frac{R}{L}Ut\right)$, U étant la valeur maximum de u. Par suite, en posant :

(3) $$\frac{L}{R} = T,$$

on aura :

(4) $$u > Li > u - U\frac{t}{T}.$$

Si l'on mène la droite OB*bd* ayant pour ordonnée courante $U\frac{t}{T}$, on voit qu'à une époque quelconque $t = Oa$ la valeur de Li est comprise entre les ordonnées ua et ub.

La courbe de Li (non tracée sur la figure) se confondra sensiblement avec celle de u, tant que l'ordonnée ab de la droite Ob sera très faible, et la valeur de i sera donnée alors très approximativement par :

$$Li = u.$$

Au début, l'intensité i dépend donc de la self-induction L de la bobine et non de sa résistance R.

A partir de l'époque θ, le coup de foudre ayant cessé, l'intensité i décroît et v est négatif, comme nous l'avons déjà fait observer. Il en résulte que le temps

$t = \mathrm{OA}$, correspondant à $v = 0$, est inférieur à θ, et que l'ordonnée $\mathrm{AB} = \mathrm{U}\frac{t}{\mathrm{T}}$ est inférieure à $\mathrm{U}\frac{\theta}{\mathrm{T}}$. Si la durée θ du coup de foudre est extrêmement courte, c'est-à-dire si $\frac{\theta}{\mathrm{T}}$ est une fraction très faible, on pourra admettre très sensiblement l'égalité : $\mathrm{L}i = u$ pendant la première période où v est positif, c'est-à-dire jusqu'au moment du maximum U de l'ordonnée u. Si, en outre, la deuxième période, pendant laquelle le prolongement du courant est dû à l'induction de l'électro-aimant, est également très courte, la courbe $\mathrm{U}udu_0$ s'abaissera très rapidement vers l'axe des t et coupera la droite $\mathrm{OB}d$ en un point d'abscisse cd très faible, de telle sorte que la formule approchée $\mathrm{L}i = u$ sera admissible pendant presque toute la durée du phénomène. Ce cas est celui où la résistance extérieure offerte au courant i de N en M est considérable; la chute $-\frac{di}{dt}$ de courant est très rapide et la force électromotrice $-\mathrm{L}\frac{di}{dt}$ peut être assez grande pour qu'une étincelle éclate *de* N *en* M (étincelle moins forte que celle qui a pu éclater au début *de* M *en* N). Dans le cas où la résistance extérieure offerte au courant i de N en M est relativement faible (électro-aimant shunté, par exemple), la courbe $\mathrm{U}u_0$ s'abaisse bien plus lentement vers l'axe $\mathrm{O}t$ et l'ordonnée cd de son point de rencontre avec la droite $\mathrm{OB}d$ peut être une fraction notable de U. L'égalité $\mathrm{L}i = u$ n'est plus alors admissible pendant la durée totale de la décharge.

Le rapport $\frac{\theta}{\mathrm{T}}$ jouant ici un rôle important, il est

utile de citer quelques exemples numériques :

Électro-aimant Morse.	$L = 500^{\omega}$,	$L = 10$	$T = \frac{L}{R} = 0^s,02$
Id. Hughes.	1250^{ω}	10	$0^s,008$
Relais Baudot.	200^{ω}	1	$0^s,005$
Coup de fouet d'Arlincourt. .	35^{ω}	0,7	$0^s,02$
Annonciateur Sieur.	180^{ω}	0,9	$0^s,005$
Récepteur Ader.	50^{ω}	0,02	$0^s,0001$
Bobine d'Arsonval.	150^{ω}	0,15	$0^s,003$

Ces chiffres n'ont rien d'absolu (voir les *Annales* de novembre-décembre 1886, pages 526-534). On remarquera que pour presque tous ces appareils T est au moins égal à 1/200e de seconde, et que, par conséquent, on pourra considérer comme très courte toute décharge d'une durée θ inférieure à 1/20 000e de seconde. Or la durée d'un coup de foudre est sans doute extrêmement variable suivant les cas. Elle peut être de $0^s,000\,000\,1$, de $0^s,000\,001$, etc., d'après le peu de données que l'on possède à cet égard; mais elle ne paraît guère devoir dépasser $0^s,000\,01$ en général, nombre très faible par rapport aux valeurs de T citées ci-dessus. Toutefois, cette durée doit être augmentée du temps mis par la décharge pour aller du point frappé par la foudre sur la ligne L jusqu'au point où se trouve l'électro-aimant B; si la distance de ces deux points est de 30 kilomètres, par exemple, le temps mis à la parcourir ne saurait être inférieur à $0^s,000\,1$. Du reste les cas où la ligne est frappée à une grande distance d'un poste télégraphique ou téléphonique sont les moins intéressants à étudier, la décharge arrivant très affaiblie : 1° à cause des déperditions qu'elle a subies en route par les dérivations de toutes sortes; 2° par suite de la diffusion des ondes électriques le long de la ligne (phénomène analogue à celui qui se produit

pour les émissions de courants télégraphiques, principalement sur les câbles sous-marins).

Supposons donc $\frac{\theta}{T}$ très faible, et proposons-nous de calculer une limite maximum de l'intensité I que peut atteindre le courant et de l'échauffement de la bobine en vertu de la loi de Joule. Comme Li est inférieur à u, dont il diffère très peu d'ailleurs jusqu'au temps $t = OA$, le maximum I du courant sera légèrement inférieur à :

$$\frac{U}{L} = \frac{1}{L}\int_0^t v\,dt,$$

et, en désignant par V_m la valeur moyenne de la différence de potentiel v pendant le temps t, on aura :

$$I < \frac{V_m t}{L} < \frac{V_m \theta}{L},$$

puisque $t < \theta$.

Exemple. — Si $L = 10$, $\theta = 0^s{,}000\,01$, et que V_m ne dépasse pas 10.000 volts, le maximum I n'atteindra pas 10 milliampères. Le courant sera donc loin d'être assez intense pour faire fondre le fil de la bobine.

D'autre part, l'échauffement de la bobine étant représenté par $\int Ri^2 dt$, pendant la période θ du coup de foudre la chaleur produite est extrêmement faible à cause de la petitesse de θ. Après cette période, le courant n'étant plus entretenu que par l'induction de l'électro-aimant, la chaleur développée soit dans la bobine, soit dans le circuit extérieur de N en M, est égale à l'énergie emmagasinée dans celle-ci et ne peut, par suite, dépasser $\frac{1}{2}LI^2$, soit :

$$\frac{1}{2}LI^2 < \frac{V_m^2 \theta^2}{2L}.$$

Si le circuit extérieur de N en M est très résistant, il absorbe la plus grande partie de cette énergie en vertu de loi de Joule, d'où échauffement moindre de la bobine. Dans le cas contraire, celle-ci pourra absorber presque entièremeut sous forme de chaleur l'énergie $\frac{1}{2}LI^2$; mais ce n'est pas le cas le plus défavorable, puisque alors la faiblesse de la résistance de M en N a dû protéger la bobine d'une manière très efficace contre le coup de foudre (voir plus loin).

On obtiendra encore, si cela peut être de quelque intérêt, une limite maximum de la température à laquelle est porté le fil de la bobine en divisant l'énergie $\frac{1}{2}LI^2$, évaluée en calories, par le poids en eau du fil, c'est-à-dire par le produit de son poids et de sa chaleur spécifique. Rappelons les valeurs de la chaleur spécifique du cuivre, du fer et du plomb (métaux entrant dans la construction des bobines, des paratonnerres à fil fin, des coupe-circuits, etc.) :

	Chaleur spécifique.
Cuivre	0,095
Fer.	0,113
Plomb	0,032

Même en supposant que la différence de potentiel V_m puisse atteindre 50.000 ou 100.000 volts, et que la durée θ soit supérieure à $0^s,000\,01$, on constatera par des exemples numériques que la fusion du fil de la bobine n'est pas à craindre, sauf cas exceptionnels. Mais des étincelles peuvent éclater entre des spires contiguës dont la différence de potentiel est considérable, et l'isolement de la bobine peut être détruit.

La méthode de calcul approché et de recherche de la limite supérieure I peut être généralisée facilement dans le cas où le coup de foudre, au lieu d'être simple comme

nous l'avons supposé, se composerait de plusieurs décharges successives de sens contraires. Supposons, par exemple, une décharge positive ($i > 0$) suivie d'une autre de sens opposé ($i < 0$). La différence de potentiel v, positive d'abord, devient ensuite négative, puis finalement positive, puisque le courant final négatif va de N en M par le circuit extérieur. La courbe du potentiel v affecte donc la forme OVV_1V_2 (*fig.* 3). Quant à la courbe repré-

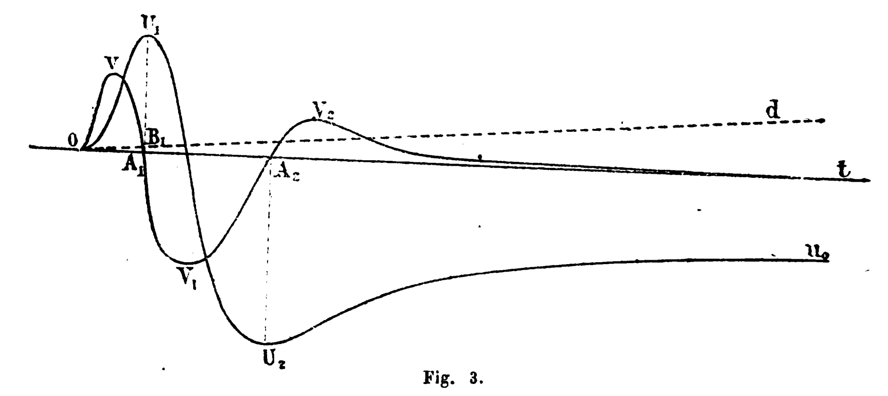


Fig. 3.

sentative de $u = \int v dt$, elle a une ordonnée maximum A_1U_1 et une ordonnée minimum A_2U_2. L'inégalité (4) subsiste encore, en donnant à U la plus grande des deux valeurs U_1 et U_2. Il en résulte que si la durée θ du coup de foudre complexe est faible par rapport à T, la courbe de Li (non figurée) se confond sensiblement avec la courbe de u, puisque $U \frac{t}{T}$ reste très faible pendant la période θ. On trouvera ainsi un maximum I_1 de courant positif sensiblement égal à $\frac{U_1}{L}$ et un maximum négatif I_2 sensiblement égal à $\frac{U_2}{L}$.

Dans tous les calculs précédents, nous n'avons pas tenu compte du fait que la self-induction d'une bobine à noyau de fer ou d'acier varie avec le courant i, ni des phénomènes de magnétisme rémanent, ni de l'accroissement de résistance R par suite de l'échauffement, ni de la capacité électrostatique que présente la bobine en raison du rapprochement des spires à potentiels différents.

PARTAGE D'UNE DÉCHARGE ATMOSPHÉRIQUE ENTRE DEUX CONDUCTEURS.

Supposons qu'il existe entre les bornes M et N de l'électro-aimant B (*fig.* 1) un autre conducteur de résistance ρ et de self-induction λ. Si ρ et λ sont comparables à R et à L, les fractions de la décharge qui traverseront respectivement la bobine B et cette dérivation seront du même ordre de grandeur. Mais il n'en sera plus de même si, par exemple, le rapport $\frac{\lambda}{\rho} = \tau$ est petit par rapport à θ tandis que $\frac{L}{R} = T$ est grand comparativement à la même valeur. Alors, en effet, la dérivation jouera le rôle de paratonnerre à l'égard de la bobine et absorbera la presque totalité de la décharge, ainsi que nous allons le démontrer.

On a simultanément l'équation (1) avec :

$$\rho i' + \lambda \frac{di'}{dt} = v. \tag{5}$$

Tandis que pour la bobine B l'intensité i est sensiblement indépendante de R, le courant i' dans la dérivation sera au contraire sensiblement indépendant de

λ pendant presque toute la période du phénomène, à cause de la petitesse de $\frac{\lambda}{\rho\theta} = \frac{\tau}{\theta}$. (Cette proposition, qui paraît évidente, peut du reste se démontrer rigoureusement.) Il en résulte sensiblement :

$$\rho i' = v,$$

et l'énergie absorbée par la dérivation en vertu de la loi de Joule, pendant le temps t, est :

$$\int_0^t \rho i'^2 dt = \int_0^t \frac{v^2}{\rho} dt = J_\rho.$$

Prenons $t = OA$ (*fig.* 1). Soit V_m la valeur moyenne de v pendant ce temps t, de telle sorte que si l'on pose :

$$v = V_m + \varepsilon,$$

on a, par définition :

$$\int_0^t v\, dt = V_m t,$$

et, par suite :

$$\int_0^t \varepsilon\, dt = 0.$$

Il en résulte :

$$v^2 = V_m^2 + 2V_m \varepsilon + \varepsilon^2,$$

$$\int_0^t v^2 dt = V_m^2 t + 2V_m \int_0^t \varepsilon\, dt + \int_0^t \varepsilon^2 dt = V_m^2 t + \int_0^t \varepsilon^2 dt.$$

L'échauffement J_ρ est donc supérieur à $\frac{V_m{}^2 t}{\rho}$ pendant cette première période $t = OA$. Or, à partir de t, l'énergie $\frac{1}{2} LI^2$ emmagasinée dans la bobine va se partager sous forme de chaleur, et proportionnellement aux résistances respectives, dans la bobine R elle-même, dans la dérivation ρ et dans d'autres dérivations s'il en existe. En supposant même que la dérivation ρ soit la

seule existante, la fraction de chaleur développée dans la bobine ne peut dépasser

$$\frac{1}{2} LI^2 \frac{R}{R+\rho} = J_R.$$

Mais on sait que LI est inférieur à :

$$U = \int_0^t v dt = V_m t;$$

donc :

$$J_R < \frac{V_m^2 t^2}{2L} \frac{R}{R+\rho},$$

et, par suite :

$$\frac{J_R}{J_\rho} < \frac{\rho}{R+\rho} \frac{Rt}{2L} < \frac{\rho}{R+\rho} \frac{\theta}{2T}.$$

Le rapport $\frac{\rho}{R+\rho}$ étant forcément inférieur à 1, et la fraction $\frac{\theta}{2T}$ étant très faible, on voit que l'échauffement total du fil de l'électro-aimant ne peut être qu'une faible fraction de l'échauffement de la dérivation ρ pendant la seule période $t = OA$.

Exemple. Soit un électro-aimant Morse de 500 ohms de résistance, shunté par une résistance de 5.000 ohms et de self-induction inférieure à 0,0001, et admettons les valeurs :

$$\theta = 0^s,00001, \quad T = \frac{L}{R} = \frac{10}{500} = 0^s,02,$$

d'où :

$$\frac{0}{2T} = \frac{1}{4000}.$$

L'échauffement de la bobine n'atteindra donc pas la 4000e partie de l'énergie de la décharge à travers le système de la bobine et de la dérivation. Il est à remarquer que cette conclusion est indépendante de la valeur de ρ; elle est seulement fondée sur ce que le

rapport $\frac{\tau}{\theta}$ est petit aussi bien que $\frac{\theta}{T}$. Elle ne subsisterait plus si $\frac{\tau}{\partial}$ était, au contraire, supérieur à 1, si par exemple θ était égal à $0^s,000\,000\,01$. Mais, dans ce cas, la limite supérieure de l'échauffement de la bobine, soit :

$$\frac{1}{2}LI^2\frac{R}{R+\rho}=\frac{V_m^2t^2}{2L}\frac{R}{R+\rho},$$

serait très affaiblie, t étant inférieur à τ.

PARATONNERRES A LAME DIÉLECTRIQUE.

Un conducteur *de self-induction extrêmement faible* et de résistance assez grande par rapport à celle de la bobine, placée en dérivation entre les bornes M et N, pourrait donc servir de paratonnerre sans gêner le fonctionnement de l'électro-aimant pendant les transmissions. Toutefois, on ne peut employer à cet effet des conducteurs métalliques, qui seraient fondus à chaque décharge un peu violente et que l'on serait obligé de remplacer fréquemment.

La méthode de calcul précédente, applicable à un paratonnerre métallique, le serait également à un paratonnerre à lame diélectrique solide, liquide ou gazeuse, si la résistance de la lame intervenait seule avec les effets d'induction. Les diélectriques paraissent opposer aux courants qui les traversent non seulement une résistance électrique proprement dite, mais encore une force électromotrice de polarisation, semblable à celle qui se développe dans les voltamètres. Cette force électromotrice e dépend de la nature et de l'état

physique du diélectrique et des électrodes; elle est nulle au début du passage du courant, puis croît peu à peu jusqu'à une certaine valeur maximum E. Si la force électromotrice extérieure v est inférieure à E, le courant cessera rapidement ou ne pourra avoir qu'une intensité très faible, comme cela a lieu dans un voltamètre lorsque la force *e. m.* extérieure est inférieure à celle qui est nécessaire pour la décomposition continue de l'électrolyte. Si v au contraire est supérieure à E, il s'établira un courant proportionnel à $(v - E)$ (*).

L'équation (5) doit donc être remplacée, dans le cas d'un diélectrique, par :

$$\rho i' + \lambda \frac{di'}{dt} = v - e, \tag{6}$$

e ayant une valeur nulle au début et ne devant pas dépasser le maximum E qui correspond à l'état du diélectrique et notamment à sa température, laquelle est très variable pendant la durée du phénomène. Ce cas peut être ramené au précédent en admettant que l'intensité i' est négligeable tant que v est inférieur à E, et en remplaçant l'équation (6) par :

$$\rho i' + \lambda \frac{di'}{dt} = v - E,$$

pendant la période où v est supérieur à E. Cela revient

(*) Ainsi l'arc voltaïque présente non seulement une résistance variable avec l'écartement des charbons, mais encore une force contre-électromotrice E, qui, dans les conditions normales, est de 35 volts environ. On peut citer également les expériences faites par C. F. Varley sur les gaz raréfiés. En étudiant la décharge d'un électromoteur à travers un gaz raréfié contenu dans un tube, il trouva que le courant continu, nul d'abord tant que la force électromotrice extérieure E_0 était inférieure à 304 daniells $=$ E, croissait, à partir de cette limite, proportionnellement à l'excès $E_0 - E$ (V. Maxwell, t. I, § 369). — La force contre-électromotrice E opposée par les gaz au passage du courant paraît s'élever d'autant plus qu'ils sont plus raréfiés.

à ne considérer comme efficace que la partie de la courbe OVA... (*fig.* 2) située au-dessus de l'ordonnée E. Si E ne dépasse pas quelques centaines de volts, et que v atteigne des valeurs notablement supérieures, les conclusions énoncées dans le paragraphe précédent ne seront pas modifiées sensiblement, à cause de la petitesse de la self-induction λ du courant i' qui passe dans l'étincelle. La résistance ρ est d'ailleurs essentiellement variable avec la température pendant la décharge.

Nous ne développerons pas davantage ces considérations. Il suffit d'avoir montré que les particularités des décharges atmosphériques signalées au début de cet article s'expliquent parfaitement par des effets de self-induction.

D'après ce que l'on vient de voir, il est essentiel, lorsqu'on veut protéger un poste intercalé entre deux points M (entrée) et N (sortie) au moyen d'un paratonnerre, de réduire autant que possible la self-induction de celui-ci. Au lieu de relier le paratonnerre à la terre par un conducteur d'une certaine longueur, il paraît préférable d'adopter le dispositif suivant : M et N étant les bornes mêmes du paratonnerre, relier M à la ligne et d'autre part au poste par un fil d'aller, ramener le fil de retour au point N (évitant de mettre le poste directement à la terre) et enfin relier la borne N à la terre.

Pour les conducteurs de paratonnerre, le cuivre est préférable au fer, à cause de la diminution de résistance et surtout de self-induction.

VASCHY.

NOTES

SUR LA

TÉLÉPHONIE INTERURBAINE

MOUVEMENT GÉNÉRAL.

La création des réseaux téléphoniques urbains a développé le besoin, né des transports à vapeur et de la télégraphie, de traiter rapidement les affaires commerciales et industrielles; de là les efforts en vue d'obtenir des communications téléphoniques de ville à ville. On n'a pas franchi la période de tâtonnements; mais le mouvement est général.

La première impulsion efficace est venue des États-Unis, où plus de huit cents lignes interurbaines, peu longues à vrai dire, existaient déjà en 1885. Ceci est naturel, étant donnée la rapidité avec laquelle la téléphonie urbaine y est entrée dans les mœurs (*) : les seules villes de New-York (6.881 abonnés), Chicago (4.577), Brooklyn (3.297), comprennent à elles trois plus d'abonnés que n'en comportent les réseaux français tous ensemble, et le nombre de communications journalières s'élève rien qu'à New-York, à plus de 84.000, nombre supérieur au total des communications échangées dans la France entière. Aussi voit-on les Américains essayer au téléphone, dès le mois de mars 1883, une ligne de 650 milles entre New-York et

(*) Voir p. 461.

Cleveland, puis quelques temps après, la même ligne prolongée jusqu'à Chicago. Dès cette expérience, le cuivre était employé pour le conducteur (fil composé électrolytique); la résistance en était inférieure à 2ω par mille (1.609 mètres) ou 1^{ohm},2 par kilomètre (*). — Il est curieux de noter l'emploi du cuivre dans cette première tentative de téléphonie à très longue distance, si l'on se rappelle qu'il y a quarante-trois ans (27 mai 1844) (**), Morse expérimentait également son système télégraphique sur une ligne en *cuivre* comprenant deux circuits à *double fil*, entre Washington et Baltimore (40 milles) (***). — Après d'autres essais, la question parut assez importante pour motiver la construction (1885-1886), entre New-York et Philadelphie, d'une ligne de 160 kilomètres environ (100 milles), en poteaux de 15 mètres avec 24 *fils* de *cuivre dur*. En ce moment même une ligne analogue doit être mise en service entre New-York et Boston (250 milles); une autre entre New-York et Albany (160 milles) se termine. Ces quelques faits suffisent à indiquer la voie où sont entrés les ingénieurs américains; un mot de l'un d'eux achève de faire saisir l'esprit de méthode qui accompagne et dirige leur infatigable initiative : « Autrefois, l'on disait : Tout est assez bon pour une ligne téléphonique. — Maintenant, je dirais volontiers : Rien n'est assez bon. — En tout cas rien n'est trop bon. » En Europe l'opinion n'est pas encore aussi bien assise; mais tous ceux qui ont pratiqué plus particulièrement la téléphonie interurbaine sont d'accord avec M. Hall.

(*) *Electrical World*, avril 1883, p. 257.
(**) Shaffner : *The telegraph manual*, p. 417.
(***) Vail : *Le telégraphe électromagnétique américain* (1845), traduction par H. Vattemare, p. 57, 96 et 119.

Sur le vieux continent et en Grande-Bretagne, le terrain était moins bien préparé. Les compagnies se heurtaient en outre au monopole télégraphique gouvernemental inconnu aux États-Unis. — Les communications interurbaines d'Europe forment deux catégories, celles exploitées : 1° par des compagnies privées (Grande-Bretagne, Suède); 2° par les administrations publiques (Allemagne, Belgique, Grande-Bretagne, France, etc.). On peut toujours soutenir que l'État détient indûment le monopole des transmissions télégraphiques; mais, le monopole existant, le dernier système est plus rationnel. Les raisons qui militent en faveur de la main mise par l'État sur la télégraphie se présentent avec plus de force pour la téléphonie *interurbaine*.

En Russie, Saint-Pétersbourg communique avec trois localités; huit autres lignes interurbaines ont été établies.

Copenhague est en communication avec les cinq réseaux urbains de Seeland.

Deux groupes régionaux importants existent en Suède : celui de Stockholm où aboutissent vingt-cinq lignes qui s'étendent jusqu'à Nyköping, à 120 kilomètres, et celui de Gotheborg, centre de sept lignes.

Les quatorze réseaux urbains du grand-duché de Luxembourg sont reliés à celui de Luxembourg même et entre eux par celui-ci.

Dans la Grande-Bretagne, le Post Office est, de par la loi, en possession du monopole télégraphique et téléphonique (décembre 1880). Les compagnies, tenant leurs concessions de l'État, exploitent les réseaux téléphoniques d'une même région (*), puis les relient graduellement entre eux et forment ainsi des sortes de

(*) Il n'est plus spécifié de rayon maximum en deçà duquel doive se

groupes provinciaux ou régionaux. Le Post Office, créateur lui-même de certains réseaux, entrait dans cette voie dès 1881 (Manchester-Liverpool, Newport-Cardiff), et le groupe de Newcastle comprenait déjà, il y a cinq ans, Sunderland, South-Shields, Tyne Dock, North-Shields, etc. Mais si l'on abandonne les groupes régionaux, très développés, on trouve que la téléphonie interurbaine n'a pas en Grande-Bretagne le caractère de généralité absolue qu'on lui prête quelquefois. Les compagnies ne s'entendent pas toujours pour relier entre eux les réseaux qu'elles possèdent et, à ne citer que la métropole, la *South of England Telephone Company* n'a pu encore obtenir pour ses abonnés la faculté de correspondre avec ceux du réseau de Londres.

Les deux pays d'Europe où le système est le plus complet sont la Suisse et surtout la Belgique qui possède 3.006 kilomètres de circuits bifilaires dont 2.985 sont utilisés à la fois à la télégraphie et à la téléphonie.

Quant à l'Allemagne, elle avait, à la fin de mars 1885, 1.689 kilomètres de lignes interurbaines.

Le budget de l'Empire pour 1888-1889, prévoit pour leur extension une dépense de 848.000 marks; nous dirons ***1.047.000*** francs.

CONSTRUCTION.

Si la téléphonie locale a provoqué le développement de la téléphonie interurbaine, on est en droit de dire que c'est à peu près le seul service qu'elle lui ait rendu. En effet, la simplicité merveilleuse, la sensi-

maintenir chaque réseau local : une taxe de 10 p. 100 sur les recettes brutes est prélevée par l'État.

bilité, l'usage facile des instruments à l'intérieur d'une même ville a propagé à l'origine cette idée malheureuse qu'on en pouvait prendre à son aise avec la fabrication des appareils et la construction des lignes. Sur le premier point, l'opinion a commencé à se modifier quand les réseaux urbains se sont étendus : il reste encore des progrès à faire ; nous ne parlons pas ici de l'invention d'appareils nouveaux, mais des soins à apporter dans l'exécution des divers types courants. Quant à la construction des lignes, des considérations pécuniaires jointes à la commodité de conversation dans les villes ordinaires ou même de seconde importance la firent considérablement négliger. Sur des isolateurs pour le moins imparfaits, on plaça des fils de grande résistance électrique, en acier et plus tard en bronze. Même dans les villes de premier rang, comme Londres (réseau aérien unifilaire) et Paris (réseau en égouts bifilaire), on s'est contenté de lignes inférieures aux lignes télégraphiques ; dans le réseau de Paris, un des mieux construits pourtant, les fils téléphoniques ont une résistance de 31 ω environ au kilomètre, tandis que les fils télégraphiques donnent $12^{\omega},5$ et $6^{\omega},5$.

On doit abandonner ces errements quand il s'agit de communications à longues distances. Les lignes, toujours aériennes, *sauf empêchement absolu*, demandent un isolement aussi parfait que possible et une excellente conductibilité. De là la nécessité : 1° de choisir les meilleurs isolateurs et d'en réduire le nombre ; 2° d'adopter des fils supérieurs à ceux employés jadis à la télégraphie.

La question d'isolement mérite toute l'attention, car les bruits étrangers perçus dans les circuits téléphoniques et dus à des fils voisins, ne tiennent pas exclu-

sivement à l'induction mutuelle de deux circuits; les dérivations interviennent pour leur part et entraînent par surcroît un affaiblissement des courants téléphoniques. Les isolateurs en porcelaine émaillée, à double cloche, du modèle de l'Administration des Télégraphes, ont, en France, répondu jusqu'ici aux besoins. Aux États-Unis, les isolateurs en verre sont préférés, comme isolement, à ceux en porcelaine (*); nous ignorons la spécification des types sur lesquels a porté la comparaison. — Les isolateurs, si perfectionnés soient-ils, occasionnent toujours des pertes. Aussi faut-il éviter de les multiplier. Cette partie de la construction présente un point délicat. Pour les circuits unifilaires, on n'a qu'à espacer les poteaux autant que le permet la nature du conducteur. Le cas des circuits bifilaires est moins simple : on les établit en général pour soustraire le système à l'influence des courants extérieurs; or, la précaution est en certains cas insuffisante, et l'on applique le dispositif préconisé en 1879 par M. Hughes pour les fils aériens [antérieurement suggéré par M. Brooks pour les fils recouverts et breveté par M. Bell (**)] et consistant à faire de l'ensemble des deux fils une sorte de torsade. Il n'est pas indispensable de corder les fils en forme de câble; il suffit de choisir les supports de manière que ces fils tournent l'un autour de l'autre et que la position moyenne de chacun soit la même vis-à-vis des conducteurs extérieurs, sources des influences perturbatrices.

(*) Cette opinion est contraire à celle qui semblait prévaloir au Congrès international de Paris en 1881.

(**) *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, 1879, p. 163 et seq.; — *Engineering*, mars 1879, p. 219; — voir *Annales télégraphiques*, t. VI, 1879, p. 174, 175, 217; — Le brevet français de Bell est en date du 4 décembre 1877.

Deux procédés ont été employés. Le moins parfait au point de vue des troubles inductifs, mais admissible en pratique, comporte à intervalles une interversion des fils sur un poteau convenablement déterminé. Règle générale, les plans des chaînettes restent, entre deux poteaux, parallèles au plan vertical qui contiendrait ces poteaux ; l'Administration belge a, de plus, sur le premier circuit Paris-Bruxelles, divisé les sections comprises entre croisements complets (2k,5) en sous-sections où chaque fil change de côté sans abandonner son niveau horizontal (*). — Aux croisements complets, le conducteur qui est en bas et à droite (l'observateur regardant la ligne suivant sa longueur) avant le croisement, se trouve, après le croisement, en haut et à gauche et *vice versâ*. Les croisements ainsi obtenus doivent partager le circuit en *sections telles que les deux fils qui le composent occupent à tour de rôle, sur des longueurs équivalentes, la même position relative par rapport aux conducteurs extérieurs.*

Sur territoire français, le premier circuit Paris-Bruxelles est croisé à l'aide de consoles doubles et d'isolateurs intermédiaires utilisés comme le montre le croquis (**) ci-joint (*fig.* 1) ; l'administration française a appliqué le même système sur les lignes de Paris au Havre et de Paris à Lille. Sauf au voisinage des extrémités, sur une longueur de 5 kilomètres, où les croisements ont été faits tous les 200 mètres environ, on s'est contenté de les espacer régulièrement de

(*) Voir la conférence extrêmement intéressante faite par M. le Directeur des télégraphes Banneux, à la Société belge d'électriciens, sur « les circuits aériens de la téléphonie à grande distance ».

(**) Nous avons trouvé l'indication de ce mode de pose dans l'*Electrotechnische zeitschrift* de 1883, p. 328.

1 kilomètre sans tenir compte des autres fils rencontrés

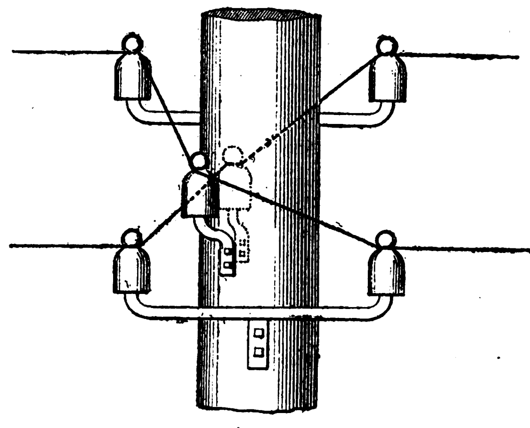


Fig. 1.

sur le parcours ; aussi perçoit-on par moments des traces de transmissions échangées sur ceux d'entre eux qui ne sont munis d'aucun appareil anti-inducteur (*). — Nous ne nous dissimulons pas l'inconvénient très réel qu'offre ce procédé d'augmenter, dans une proportion parfois notable, le nombre des isolateurs, c'est-à-dire des points où se produisent les pertes. Supposons, en effet, un pareil croisement tous les kilomètres : on trouve, par kilomètre, deux isolateurs en

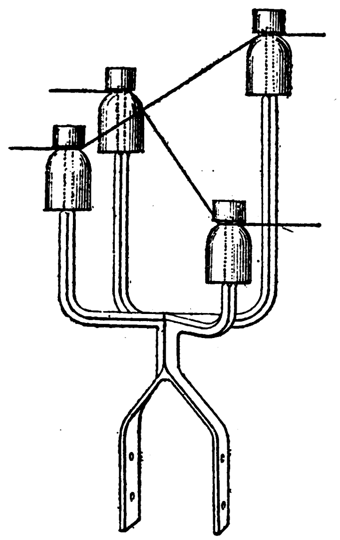


Fig. 2.

(*) V. *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, 1879, p. 163; — *Annales télégraphiques*, t. VI, 1879, p. 166, et t. XI, 1884, p. 329.

plus sur chaque fil, et si l'on admet 14 poteaux au kilomètre, cela fait 2/14 ou 14,2 p. 100 d'isolateurs en plus ; autrement dit, une ligne de 700 kilomètres ainsi aménagée aurait autant de pertes, toutes choses égales d'ailleurs, qu'une ligne de 800 kilomètres ordinaire.

Lorsque le circuit double est placé à la tête des poteaux, l'administration belge emploie la ferrure à croisements ci-contre (*fig.* 2), où l'on n'a plus qu'un seul isolateur supplémentaire. Récemment deux de ses

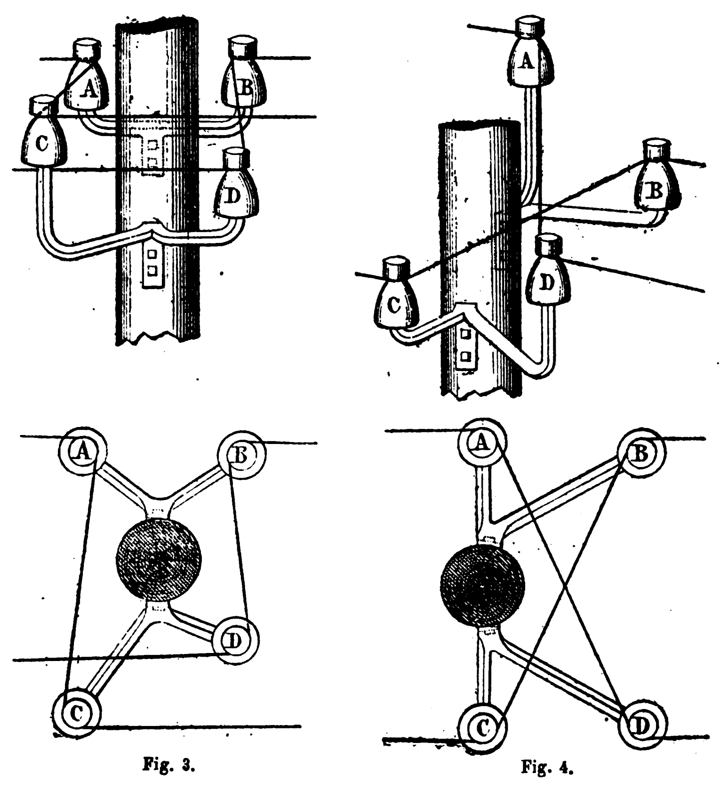


Fig. 3. Fig. 4.

agents, MM. Fisson et Vrancken ont atteint ce résultat en combinant des ferrures (*fig.* 3 et 4) qui permettent

de placer les fils sur la hauteur des poteaux et non pas exclusivement au sommet. La ferrure indiquée à la *fig.* 5 est plus simple de forme et plus légère; c'est d'ailleurs le croisement ci-dessus (*fig.* 3) qui nous en a donné l'idée. M. A.-R. Bennett, directeur de la *National Telephone company* applique depuis deux ans et demi, pour les croisements horizontaux, la disposition de la *fig.* 6 et déclare s'en bien trouver; les fils de croisement sont recouverts de gutta; la petite longueur et la rigidité de ces raccords les maintiennent écartés.

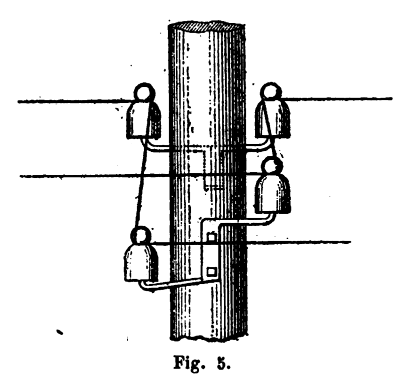


Fig. 5.

Le système théoriquement le plus parfait est celui qui se rapproche le plus d'un cordelage continu, c'est-à-dire où un fil change successivement, entre deux appuis consécutifs, de côté par une déviation dans un plan horizontal, puis de hauteur entre les deux suivants par une déviation dans un plan vertical. Le Post Office, par exemple, adopte cette disposition (*fig.* 7 et 8); dès 1882, il existait aux abords de Manchester 400 milles

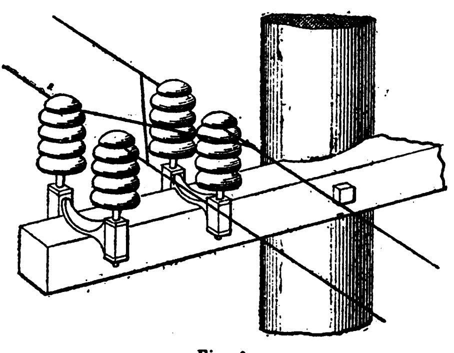


Fig. 6.

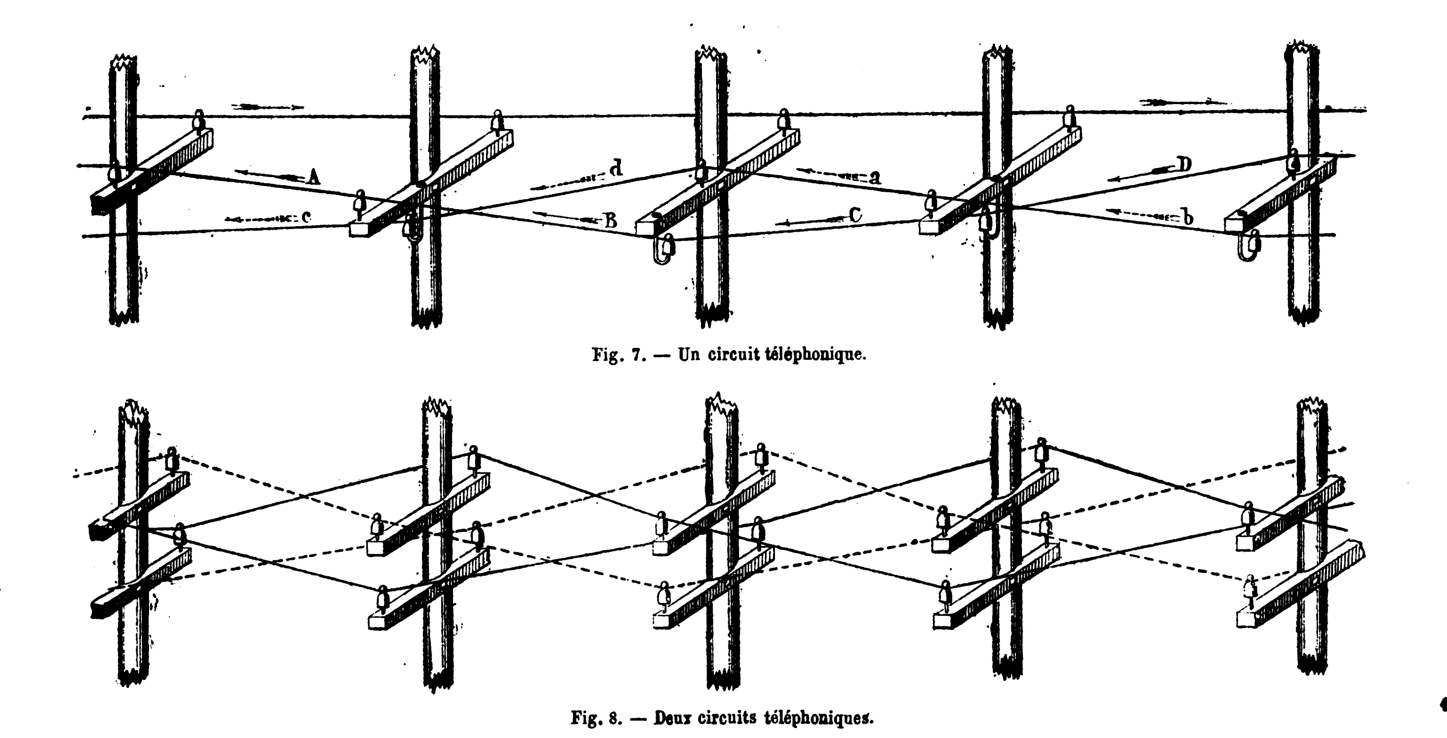


Fig. 7. — Un circuit téléphonique.

Fig. 8. — Deux circuits téléphoniques.

de fils doubles ainsi cordelés (*). De son côté l'État belge, avec un autre matériel, a suivi le même plan en 1883 sur la ligne Anvers-Bruxelles (*fig.* 9 et 10). Ce genre de construction a l'avantage de supprimer tout isolateur supplémentaire et par là de présenter les meilleures chances d'isolement. On lui reproche seulement de pouvoir occasionner des mélanges de fils et d'être incommode pour la recherche des dérangements, à raison des croisements en pleine portée qui existent à l'état normal *en projection :* le Post Office ne paraît pas s'en préoccuper beaucoup. — On ne peut, croyons-nous, condamner sans appel ou adopter sans réserves l'un ni l'autre des deux modes de construction ; le choix dépend des circonstances. Doit-on établir une ligne dans un pays au climat sec, aux vents violents et répétés, il sera profitable de conserver les fils parallèles en pleine portée ; on choisira les croisements sur poteaux. La ligne, au contraire, traverse-t-elle une région humide où chaque point d'appui crée une perte, le cordelage continu avec nombre minimum d'isolateurs nous semblera préférable.

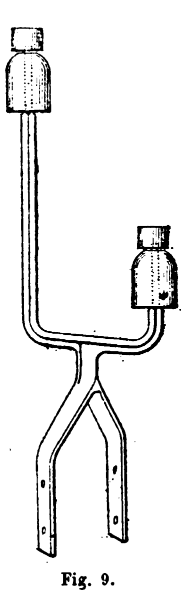


Fig. 9.

Quel que soit le système adopté, il ne doit pas diminuer le nombre de fils supportés par les appuis ; en particulier il permettra de disposer aux sommets opposés d'un losange les isolateurs supportant les deux

(*) Preece : *Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians*, vol. XI, 1882, p. 620, et *Meeting of the Bristish Association*, Southampton, 1882.

fils constitutifs de chaque circuit lorsqu'on aura deux circuits.

Il importe en tous cas, et c'est un point qu'on néglige souvent, de tenir en bon état de propreté les isolateurs : l'entretien des lignes téléphoniques provoquera certainement, dans un temps plus ou moins rapproché, l'adoption de mesures spéciales.

Fig. 10.

Avec l'isolement, avons-nous dit, la faible résistance électrique des fils est une autre condition de bon fonctionnement. Une exploitation véritablement commerciale n'est possible que si la communication est réellement

facile : dans les conditions actuelles, on peut fixer à 100 kilomètres la distance au delà de laquelle il faut, sauf impossibilité, substituer le cuivre au fer; le supplément de dépenses trouvera, si l'établissement de la ligne a vraiment sa raison d'être, une ample contre-partie dans le supplément des communications demandées.

Le cuivre se rencontre aujourd'hui, sous forme de fils électriques, à quatre états différents : cuivre pur recuit, cuivre non recuit ou dur, bronze, fil composé. Le premier, dépourvu de ténacité (*), sert à constituer des câbles sous-marins ou souterrains pour la télégraphie, la téléphonie, la lumière électrique. Le second, dont la charge de rupture va jusqu'à 45 kilogrammes par millimètre carré pour les fils de petit diamètre (ne dépassant pas 2^{mm}), se prête à la construction de circuits aériens où le fil supporte son propre poids. Les longues lignes téléphoniques des États-Unis sont, pour la majeure partie, en fil de cuivre dur; M. Preece, de son côté, a fait connaître à diverses reprises les heureux résultats qu'il avait atteints en télégraphie (**) avec de pareils conducteurs et le rapport du Postmaster general, en date du 29 août dernier, souligne à ce point de vue le « succès marqué » obtenu par des fils de cuivre pesant 150 livres (***) par mille.

Le bronze, en faveur sur le continent près des Administrations belge et française, mis en œuvre également par la « Stockholm Allmänna Telefon Aktiebolag » et par le gouvernement autrichien, possède une qualité précieuse : phosphoreux, silicieux ou chromeux, il se

(*) La charge de rupture est de 25 kilogrammes environ par millimètre carré.

(**) *Bristish Association*, Aberdeen, 1885, p. 907; — Voir *Annales télégraphiques*, t. XIII, 1886, p. 323, t. XVI, 1887, p. 528.

(***) La livre *avoir du poids* vaut $453^{gr},59$.

prête à la fabrication de fils dont on fait varier la ténacité dans des limites étendues ; la résistance électrique varie malheureusement en sens inverse : mais ces conducteurs répondent jusqu'ici à peu près à tous les besoins de la pratique. Ceux en bronze phosphoreux (*) ont maintenant une conductibilité de 95 à 15 p. 100 de celle du cuivre pur (étalon de Matthiesen) avec une traction de rupture de 45 à 120^{kg} par millimètre carré (**) et le bronze silicieux employé dans les réseaux urbains français, présente une traction minima de rupture de 70 kilogrammes par millimètre carré de section.

Aux conducteurs pour lignes interurbaines, on demande une forte conductibilité (***). Les cahiers des charges belges spécifient uniformément, pour les fils autres que ceux de 1^{mm},4 destinés aux réseaux locaux, une conductibilité minima de 95 p. 100 et une charge maxima de rupture de 45 kilogrammes par millimètre carré. En France, on tolère que celle-ci varie suivant les diamètres, les limites étant de 45 kilogrammes par millimètre carré pour le fil de 2 millimètres et de 40^{kg} pour celui de 4^{mm},5 ; la conductibilité est de 96 p. 100 de celle du cuivre pur (****).

Le fil composé, employé aux États-Unis, est formé d'une âme d'acier recouverte de cuivre (*****) et béné-

(*) Voir *Exposition internationale d'électricité*, Paris, 1881, rapports du jury, t. I, p. 156.

(**) *Bulletin de la Société belge des électriciens*, 1887, p. 36.

(***) Ceci n'est point absolu : Quand les lignes sont courtes et les intempéries redoutables, il n'y a pas de raison pour écarter les fils de grande ténacité. La Stockholm Allmänna Telefon Aktiebolag emploie pour ses lignes interurbaines un fil de bronze phosphoreux de l'usine d'Anderlecht présentant une charge de rupture de 90 kilogrammes par millimètre carré et une résistance électrique de 85$^{\omega}$ par kilomètre à 0° C.

(****) On admet que la résistance à 0° d'un kilomètre de fil de cuivre pur de 1 millimètre de diamètre est de 20$^{\omega}$,57.

(*****) On en fabrique également avec l'acier à l'extérieur et le cuivre au centre.

ficie par là de la ténacité de l'un et de la conductibilité de l'autre. On obtient aujourd'hui le revêtement cuivrique par électrolyse (*) ; les ingénieurs américains paraissent satisfaits des services que rend ce fil pour les grandes lignes télégraphiques. Le fil New-York-Chicago qui servit à l'expérience téléphonique de 1883 mentionnée plus haut a une âme d'acier de $3^{mm},17$ de diamètre recouverte d'une couche électrolytique de cuivre, qui porte le diamètre total à $6^{mm},04$.

De son côté, la métallurgie du fer cherche à livrer des fils de plus en plus conducteurs et la seule usine Johnson & Nephew montrait cette année à l'exposition de Manchester, trois qualités supérieures à celle du fer « best best » qui est le fer télégraphique; ces trois qualités, rangées par ordre de conductibilité croissante étaient désignées sous le nom de « extra best best », « special conductivity », « extra special conductivity ». Les données numériques nous manquent sur ces produits.

Voici par contre celles, déjà vieilles de plus d'un an, qui nous ont été fournies sur un fer produit par la Société anonyme des hauts fourneaux, forges et aciéries de Denain et d'Anzin : ce fer homogène doux a la composition chimique suivante :

Carbone.	0,05
Silicium.	traces
Manganèse	0,14
Phosphore.	0,018
Soufre.	traces

le tout pour 100.

(*) *Exposition internationale d'électricité*, Paris, 1881, rapports du jury, t. I, p. 154; — voir également sur le fil composé : *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, vol. I, 1872-73, p. 284, et *Engineering*, 1872, mai, p. 317, et août, p. 84.

Ce fer doux, en barreaux de 20 millimètres de diamètre, donne une résistance à la rupture de $32^{kg},500$ par millimètre carré. La conductibilité à la température ordinaire a été trouvée de 0,171 de celle du cuivre pur.

Les joints qui sont toujours des points faibles sur les lignes télégraphiques exigent des précautions particulières quand il s'agit de fils en cuivre ou alliages de cuivre. Un bon joint doit offrir une résistance à la traction au moins égale à celle du fil et ménager un contact parfait entre les conducteurs. Or, les procédés habituels rendent ces deux conditions un peu contradictoires en ce qui regarde les fils de cuivre; la continuité électrique des lignes en fer est assurée aux raccords à l'aide de soudure; pour la faire prendre, on chauffe assez fortement les fils et cela n'a point d'inconvénient. Mais les fils en cuivre dur ou en bronze de haute conductibilié doivent presque toute leur ténacité à l'écrouissage et la perdent par le recuit. Il faut donc éviter de les chauffer outre mesure; en France, lorsqu'on applique le manchon Baron aux constructions en cuivre comme à celles en fer, on prend de la soudure plus fusible et les ouvriers ont l'ordre de ne chauffer qu'à la température strictement nécessaire.

Une autre méthode qui a fait également ses preuves permet de tourner la difficulté et de moins se préoccuper d'une négligence; on forme, avec les extrémités des fils à réunir, une torsade simple ou double qui donne la liaison mécanique, puis on soude entre eux les deux bouts restés libres (*fig.* 11); ceux-ci peuvent alors subir une surchauffe sans danger pour la solidité

du joint. C'est le système qui a été adopté dans le réseau urbain de Troyes.

Le joint Mac Intire, d'invention récente, semble



Fig. 11.

jusqu'à présent offrir pleine sécurité (*). Deux tubes de cuivre sont brasés côte à côte de manière à constituer un même morceau de métal (*fig.* 12). On y engage les extrémités des fils à réunir; les tubes sont alors saisis à l'aide de mâchoires convenables et tordus (*fig.* 13). La torsion diminue la longueur du double manchon; la surface intérieure des tubes et le fil sur lequel elle glisse à frottement viennent en contact intime et l'on

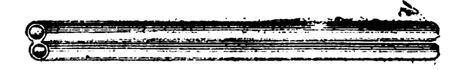


Fig. 12.



Fig. 13.

se dispense de souder. Le joint a montré aux essais une ténacité tout aussi grande que le fil de ligne et supérieure à celle du joint Britannia ou de la torsade, l'un et l'autre soudés; l'humidité et l'oxydation ne pénètrent pas, dit-on, à l'intérieur des tubes qui, d'ailleurs sont choisis de manière à bien s'ajuster sur le fil même avant la torsion. Le joint a été employé non

(*) *Meeting of the National Telephone Exchange Association,* Pittsburgh, 1887.

seulement pour des lignes télégraphiques ou téléphoniques, mais encore pour des conducteurs à lumière de plus de 1 centimètre de diamètre. En cas de nécessité reconnue, on pourrait toujours, sur les lignes téléphoniques, laisser dépasser les extrémités libres des fi's et les souder à l'extérieur du joint soit directement, soit plutôt avec un manchon Baron. A première vue, la solution parait identique à celle de la torsade qu'il n'y aurait aucune raison d'abandonner ; en réalité, la torsade ne met en contact les deux fils que par une surface de tangence réduite presque à une ligne et, pour empêcher, surtout sans soudure à la partie horizontale, le fil d'échapper, il faut accentuer fortement la courbure du fil et donner aux spires un pas très court ; on produit une sorte d'accrochage ; cette opération fatigue le fil et devient incommode avec les gros diamètres. Par le joint Mac Intire, au contraire, les fils et les cylindres de cuivre sont en contact complet par une surface considérable et la pression réciproque détermine entre eux un frottement des plus énergiques ; le pas de l'hélice de torsion peut donc être sensiblement allongé et le procédé appliqué sans inconvénient pour la ténacité et nonobstant la grosseur du fil. En outre, le double manchon formant un seul bloc métallique, la conductibilité reste inaltérée à la surface de contact des deux tubes enroulés l'un autour de l'autre.

Si une expérience prolongée confirme les premiers résultats obtenus et montre qu'on peut s'en tenir au mode opératoire actuel, il y aurait là un moyen rapide et sûr de raccorder facilement les fils de cuivre ou de bronze. Nous avons cru intéressant de le signaler, car il permettrait d'écarter les chances de recuit acciden-

tel, d'éviter le froissement du fil par action directe de l'outil (*) et de simplifier le matériel de pose.

On ne saurait construire avec trop de soins les lignes interurbaines, d'abord à cause de la longueur qui en multiplie les points faibles, ensuite (on serait tenté de dire surtout) à cause de la constitution défectueuse des réseaux terminaux qui dépendent parfois d'une autre entreprise. Aériens ou souterrains, ceux-ci sont établis à l'aide de fils très résistants mécaniquement, ce qui est commode, et électriquement, ce qui est mauvais. L'immense majorité en est à fils simples et bien des liaisons à la terre sont douteuses. En outre, les isolateurs des réseaux aériens sont de dimensions trop exiguës et de formes vicieuses. De leur côté, les conducteurs des réseaux souterrains ont une capacité considérable, et l'on sait l'influence nuisible de la capacité.

Un exemple donnera une idée de l'importance que prennent les éléments introduits par les réseaux urbains. Considérons la ligne de Paris à Bruxelles par Quévy : la longueur de la partie aérienne est très approximativement de 315 kilomètres ; on peut admettre pour chacun des fils du circuit double une résistance de 800ω et une capacité de 2,52φ. Ajoutons maintenant la traversée urbaine de Paris jusqu'au domicile d'un abonné ; soit 7 kilomètres la longueur du câble reliant l'abonné à la Bourse par l'intermédiaire du bureau central des téléphones et d'un bureau de quartier.

(*) Il importe à la solidité de la ligne que le fil ne subisse aucun effort mécanique anormal tel que rayure profonde ; on interpose toujours un corps mou entre les fils de cuivre et les mâchoires de fer qui servent à tendre.

Nous avons en outre, depuis les fortifications jusqu'à la Bourse, un câble spécial avec une résistance de 64ω et une capacité de 0,20φ par fil. Les 7 kilomètres de câble ordinaires donnent 217ω et 1,40φ. La traversée de Paris fournit donc un surcroît de $217 + 64 = 281\,\omega$ et de $0{,}20 + 1{,}40 = 1{,}60\,\varphi$. La résistance totale de la ligne est augmenté de *35 p. 100* et la capacité de *63 p. 100*. Supposons maintenant : 1° que la ligne interurbaine se prolonge depuis les fortifications jusqu'à 300 mètres de la Bourse par une amorce en fils de bronze de 2 millimètres; 2° que le bureau de quartier soit relié à la Bourse dans ces mêmes conditions, les deux lacunes de 300 mètres ainsi laissées aux abords de la Bourse, étant comblées par un câble spécial; 3° que la ligne de l'abonné soit la même. Comme la moyenne des lignes d'abonnés a 2 kilomètres, la ligne urbaine se décomposera comme suit :

		Longueur	Résistance de chaque fil	Capacité de chaque fil
Du domicile de l'abonné au bureau de quartier.		2^{km}	62^{ω}	$0^{\varphi},40$
Du bureau de quartier à la Bourse et de la Bourse aux fortifications.	Partie aérienne 4,7 × 2 (*). .	$9^{km},4$	$50^{\omega},76$	$0^{\varphi},08$
	Partie en câble spécial 0,3 × 2	$0^{km},6$	$7^{\omega},28$	$0^{\varphi},02$
			$120^{\omega},04$	$0^{\varphi},50$

Nous n'avons plus qu'une augmentation de 15 p. 100 pour la résistance et de 19 p. 100 pour la capacité. Encore avons-nous supposé les lignes aériennes construites avec du fil de petit diamètre et aussi longues que les lignes actuelles en égout, ce qui est fortement exagéré puisque les parcours seraient beaucoup abrégés.

(*) En admettant 5 kilomètres de la Bourse aux fortifications.

Quant à l'aspect de ces lignes à l'intersection des principales voies publiques, il n'y a point à s'en préoccuper dans l'état actuel. Il est clair, en effet, que les traversées seraient perpendiculaires ou à peu près ; de plus, les faisceaux réguliers ne sont pas disgracieux ; ce sont les fils se croisant en tous sens ; enfin, et ceci nous paraît suffisant dans la plupart des villes, les faisceaux qu'il s'agirait de constituer passeraient inaperçus à raison de leur petit nombre et de leurs faibles dimensions. Dans le réseau de Paris, par exemple, les abonnés communiquant à longue distance sont en majeure partie reliés aux bureaux de quartier voisins du centre (avenue de l'Opéra, rue d'Anjou-Saint-Honoré, rue Étienne-Marcel, place de la République) ; le nombre de communications à établir simultanément par un des autres bureaux sera relativement faible ; même en escomptant largement l'avenir, on ne peut prévoir plus de 8 circuits directs, soit 16 fils, entre la Bourse et le plus chargé d'entre eux. Les mesures en question offriraient un intérêt particulier pour les bureaux éloignés. L'épreuve pourrait être faite avec l'un d'eux ; il serait à désirer qu'elle fût complète, c'est-à-dire accompagnée de la création, pour une des lignes interurbaines, de l'amorce aérienne dont nous parlions tout à l'heure. Quant aux bureaux du centre, comme celui de la place de la République, il serait utile de les relier à la Bourse par des câbles directs en égout ; au besoin on adopterait un type spécial. — Les frais occasionnés par l'exécution de travaux semblables ne seraient probablement pas très élevés, surtout si l'on considère qu'ils se répartiraient sur la totalité des lignes interurbaines aboutissant à une ville déterminée, et l'on aurait au moins le bénéfice des dépenses faites dans la construction

de ces lignes ; aujourd'hui, l'on a plus d'avantage par exemple à prolonger de 44 kilomètres (*) la ligne aboutissant aux Bourses de Paris et de Bruxelles qu'à se placer à l'une des Bourses et aux postes du réseau de l'autre ville. — Car cet affaiblissement se manifeste entre la Bourse de Paris et le réseau de Bruxelles, aussi bien qu'entre la Bourse de Bruxelles et le réseau de Paris. Si, en effet, le réseau de Paris a le défaut d'être souterrain, celui de Bruxelles a le défaut d'être à fils uniques (comme ceux de Lille, le Havre, etc.) et, pour relier un circuit à simple fil avec un circuit double, on est obligé d'employer l'intermédiaire d'une bobine d'induction (**). (La fonction que remplit cette bobine la fait désigner fréquemment sous le nom de bobine répétitrice). Or, même lorsque les lignes locales sont bien construites, les bobines répétitrices, pour une cause ou pour une autre, sont toujours l'origine de difficultés ; les uns estiment que la voix perd de 40 à 50 p. 100 quand il en existe à un bout de la ligne seulement et de 60 à 70 p. 100 quand on en place à chaque extrémité, les autres constatent que l'intervention de ces appareils ne laisse, pour ainsi dire, aucune marge en cas de dérangement. D'ailleurs, le reliement de circuits simples aux circuits métalliques interurbains est mauvais à d'autres égards ; tout étant dans l'état normal, l'induction mutuelle entre conducteurs simples du même réseau n'en subsiste pas moins et si, pendant la conversation d'un abonné avec une autre ville, on parle sur un fil voisin du

(*) Ceci est la longueur d'un circuit aérien existant entre Bruxelles et Anvers : deux fils de bronze de 3 millimètres comme entre Bruxelles et Paris.

(**) Bennett : *Electrical World*, 1883, t. I, p. 66 ; — Bulletin de la Société internationale des électriciens, 1885, t. II, p. 213 ; — *Annales télégraphiques*, t. XIII, 1886, p. 16 ; — voir *Annales télégraphiques*, t. XI, 1884, p. 477 : cas de bobines d'induction intercalées en série dans des circuits téléphoniques.

fil local de cet abonné, les deux groupes de correspondants se gênent mutuellement; il nous est arrivé plusieurs fois de voir la conversation arrêtée de ce fait sur un circuit interurbain. Quand des ennuis semblables se produisent dans les communications urbaines, il n'y a que demi-mal, les correspondants actuels étant seuls à en souffrir. Mais ici le cas est différent : les circuits interurbains sont peu nombreux dans chaque direction et tout ralentissement a une double conséquence : occuper la ligne sans utilité, au détriment des personnes qui attendent la communication (on peut dire qu'il y en a toujours) et diminuer les recettes de l'exploitation. Cette considération vient s'ajouter à celles qui militent contre les réseaux unifilaires. On commence, du reste, à les rejeter un peu partout pour arriver aux réseaux à circuits métalliques; l'un des exemples les plus frappants est celui de New-York où la compagnie entreprend la transformation graduelle, à double fil, d'un réseau qui comprend aujourd'hui près de 7.000 abonnés.

TARIFS.

Les tarifs doivent être rémunérateurs : si c'est une société privée qui exploite, pour lui assurer de légitimes bénéfices; si c'est l'État, pour lui permettre de multiplier et d'étendre les lignes sans obérer le Trésor. — Il s'agit de déterminer les dépenses et d'évaluer les recettes.

La détermination des dépenses dans chaque cas particulier est relativement facile. Elles proviennent de l'aménagement et de l'entretien des lignes, de l'achat et de l'entretien des appareils téléphoniques, des loca-

tions d'immeubles, des traitements du personnel, de l'intérêt et de l'amortissement du capital emprunté. — L'emprunt est le cas de beaucoup d'entreprises privées et des peuples qui ont une dette publique.

Lignes. — *a*) Dans l'état actuel, on peut fixer à 1000 ω la limite *extrême* de la résistance pour chacun des deux fils constitutifs d'un circuit interurbain; peut-être l'accroissement de capacité résultant de l'accroissement de distance conduirait-il à une limite plus basse pour les plus grandes lignes. Soient L la longueur de la ligne en kilomètres, d le diamètre en millimètres du fil à employer, R la résistance et p le poids kilométriques du fil de même alliage de 1 millimètre de diamètre. La résistance x de chaque fil aura pour expression $x = \frac{RL}{d^2}$ d'où $d^2 \geqq \frac{RL}{1000}$. Prenons la limite inférieure $d^2 = \frac{RL}{1000}$. Le poids total P de fil employé dans la ligne à deux fils sera $P = \frac{2pRL^2}{1000}$ d'où pour le prix S du fil, s étant celui de l'unité de poids, $S = s . \frac{2pRL^2}{1000} = \frac{2spR}{1000} L^2$.

b) A cette somme on doit ajouter celle correspondant au matériel de pose et à la main-d'œuvre Lm, m représentant la valeur moyenne de cet élément par kilomètre. En tout ceci, l'on opère évidemment sur des moyennes, sans quoi l'on aurait autant de tarifs que de lignes.

Nous supposerons la ligne formée exclusivement de fils *aériens* posés sur *appuis existants*.

g) Comme dépense annuelle, nous avons l'entretien eL, e correspondant à l'entretien kilométrique.

c) La ligne étant construite sur appuis existants, il arrivera en général que les fils voisins appartiendront à un réseau télégraphique ; afin d'éviter dans l'audition téléphonique les perturbations venant des transmissions télégraphiques sur ces conducteurs, on munira les principaux d'entre eux du dispositif van Rysselberghe. Nous ne croyons pas nous éloigner beaucoup de la vérité en évaluant la dépense, pour les très longues lignes, à une somme fixe de 10.000 francs augmentée d'une autre variable calculée à raison de 10 francs par kilomètre.

Appareils microphoniques. — *d*) L'achat des microphones pour les postes extrêmes ou ceux de coupure, des cabines, des accessoires, occasionne une dépense que nous supposerons de 1.800 francs pour le circuit. Cette somme sera notablement réduite quand les divers brevets seront tombés dans le domaine public.

h) L'entretien des appareils doit être calculé largement, car les appareils ont un service extrêmement dur, surtout ceux à la disposition du public.

Immeubles. — *j*) Les locaux où se fait le service des communications (salle du tableau commutateur, salle de la cabine) sont attenants aux bureaux téléphoniques urbains ou aux bureaux télégraphiques ; il faut tenir compte néanmoins de la part de loyer qui leur revient.

Traitements du personnel. — *k*) Un employé peut desservir simultanément deux à trois lignes interurbaines vraiment occupées. La tenue des procès-verbaux ralentit beaucoup le service ; il est prudent de compter

seulement sur deux lignes. Dans le cours d'une journée, deux employés alternent à chaque poste; c'est donc en réalité le traitement d'un employé par ligne qu'il faut prévoir, soit, pour les deux extrémités de la ligne, deux employés. Le salaire annuel moyen (tantôt employé homme, tantôt employée femme) étant admis de 2.000 fr., nous avons là une dépense de 4.000 fr. par an.

Un mécanicien sera nécessaire et aussi un homme de peine; mais comme ces emplois ne seront pas créés exclusivement pour une ligne et comme le temps de ces agents sera partagé entre tout le reste du service du bureau télégraphique ou téléphonique, il suffira de prévoir pour les deux extrémités une somme totale de 600 francs.

On supposera le capital emprunté à 5 p. 100. L'amortissement sera réparti sur une période de dix ans et opéré par annuités portant seulement intérêt à 3 p. 100; le taux de l'amortissement est alors 0,087.231. Il est bon que l'amortissement soit rapide, car on ignore les développements que prendra la téléphonie interurbaine et il est possible que dans un délai relativement court on soit amené à un remaniement important des constructions premières.

L'évaluation des recettes est plus délicate.

Elles dépendent : 1° des besoins réels que la ligne est destinée à satisfaire; 2° des facilités de communication; 3° des taxes.

1° La construction d'une ligne n'est décidée que si les renseignements préalables en ont révélé l'utilité. Mais encore faut-il distinguer, au point de vue des

recettes, entre les directions où le trafic sera de 30 communications par jour et celles où il s'élevera jusqu'à 80, 100 et davantage.

2° Les éléments qui facilitent l'usage du téléphone sont de deux sortes : bonne qualité du son, rapidité du service.

La qualité du son résulte des appareils, de la nature du conducteur et de la diction des correspondants. Les appareils des types connus sont parfaitement suffisants quand ils sont bien construits ; convenablement maniés, ils fournissent une transmission assez forte et nette ; la netteté est très importante. — Nous avons vu les conditions imposées au conducteur. — Quant à la diction qui échappe complètement à l'action de l'entreprise, elle a beaucoup plus d'influence qu'on ne lui en attribue communément; une voix pleine, une articulation claire, un débit calme contribuent grandement à la perfection de la correspondance. C'est affaire aux intéressés à se conformer aux recommandations qui leur sont faites.

La rapidité est plus d'autant plus difficile à atteindre que la distance est plus considérable, car le nombre des circuits directs décroît à mesure que croît la distance à franchir et le nombre de conversations par heure et par circuit est minime. On remarquera incidemment ce fait assez curieux que l'on dispose, pour transmettre la pensée à distance, de moyens d'autant moins étendus qu'ils répondent à des besoins plus urgents. La poste, agent de transport, part à heure fixe, laisse attendre les correspondances et possède des ressources en quelque sorte illimitées ; un millier de lettres de plus sur une direction entraîne une surcharge insignifiante de 15 kilogrammes dans le wagon-poste

ou l'allège et un agent suffit à timbrer et trier en une heure plusieurs centaines de lettres. Le télégraphe, d'un maniement plus délicat, attend les messages et en assure l'envoi presque immédiat; il n'a que peu de conducteurs à sa disposition, et sur chacun d'eux une puissance de transmission réduite. Au téléphone enfin, la transmission est instantanée, le nombre de circuits interurbains des plus restreints et il faut des circonstances exceptionnelles pour atteindre sur un d'eux en une heure un total de 15 ou 20 communications.

3° Doit-on établir un tarif très bas pour développer le mouvement télégraphique interurbain? Est-il préférable de l'élever et d'en rétrécir la base d'application?

L'abaissement d'un tarif est toujours séduisant; il semble que producteur et consommateur y trouvent leur compte, l'un en vendant plus, l'autre en payant moins. Ce n'est qu'un mirage. Sans parler du produit net, le produit brut lui-même, égal à zéro pour une taxe prohibitive revient à zéro pour une taxe nulle : voilà pour le producteur.

Quant au consommateur, la réduction des taxes lui est-elle nécessairement avantageuse? C'est plus que douteux. Laissons de côté les industries vieilles, en possession d'un matériel bien étudié et d'une sphère d'action définie ; ce cas n'est pas celui de la téléphonie interurbaine. Considérons des entreprises neuves, sûres de leur développement continu, mais en ignorant la loi et appelées à transformer leur outillage. Pour augmenter leur sécurité, dotons-les d'un monopole, monopole de droit ou monopole de fait. Nous admettrons encore que l'objet à consommer soit d'usage courant, que son marché s'agrandisse corrélativement à l'abaissement du prix de vente. Est-il convenable, au

point de vue du seul consommateur, que, de prime abord, le producteur renonce aux avantages de sa situation et ne tire des capitaux engagés qu'un intérêt calculé parcimonieusement? Est-il certain que les taxes basses favorisent l'extension du trafic? Le moindre exemple montre le contraire. Deux localités sont desservies par une entreprise de transports notoirement insuffisante; il faudrait dix voitures et le seul homme qui ait tenté l'affaire n'en peut mettre que trois en circulation. Va-t-il se contenter d'un salaire qui lui donne strictement de quoi vivre? Ce serait d'un désintéressement rare, mais d'un désintéressement fâcheux; car, sous ce régime, les deux localités resteront mal desservies indéfiniment. Que l'entrepreneur au contraire adopte le tarif le plus avantageux, et ses bénéfices lui permettront d'ajouter graduellement à ses trois premières voitures les sept qui font défaut. Alors il pourra, sans inconvénient, réduire ses prix, s'il lui plaît.

La téléphonie interurbaine est un peu dans la même situation. En effet, quel en est le but? Quelles en sont les ressources? La caractéristique du *service* téléphonique est l'instantanéité d'information qu'il procure. L'intervention personnelle des intéressés est la caractéristique du *genre de communication*, non du *service*, et vient seulement au second rang. S'il en était autrement, les communications télégraphiques directes se fussent depuis longtemps généralisées; les bureaux d'intercommunication, antérieurs à l'apparition du téléphone mettaient en relation, suivant leurs demandes, les concessionnaires eux-mêmes des lignes privées qui y aboutissaient; la voie était ouverte et le rayon d'action de ces bureaux se serait promptement étendu, n'eussent été la longueur des délais d'attente

et la lenteur des transmissions; d'autre part, on ne pouvait songer à abréger les délais en enlevant au service public les lignes télégraphiques selon les caprices des convenances particulières.

La rapidité d'information étant le but et la raison d'être de la téléphonie, toute l'organisation doit tendre à l'assurer et à l'accroître. La première condition à remplir est de bien utiliser chaque circuit, la seconde d'avoir des circuits en nombre suffisant.

Or, toutes choses égales d'ailleurs, chaque circuit sera d'autant mieux utilisé que les manœuvres à faire seront moins nombreuses et le temps perdu moins considérable. Un matériel donné ayant été choisi, une procédure déterminée adoptée, le minimum de manœuvres sera obtenu quand le nombre de postes intermédiaires sera lui-même minimum; le cas le plus favorable sera donc celui d'abonnés reliés directement aux postes interurbains têtes de lignes. — Le temps perdu ne l'est pas seulement du fait des avis préliminaires de service, il est également imputable aux intéressés. Quand l'unité de durée choisie comme base de la taxation est trop longue, les correspondants se laissent volontiers aller à des conversations inutiles; il nous est arrivé plus d'une fois de voir un correspondant ayant prolongé outre mesure son entretien protester qu'il l'aurait terminé sans difficulté à la fin de la première période indivisible payante, s'il y avait pris garde; d'autres demandaient qu'on les interrompît au moment convenable. L'accroissement du temps de conversation dû au choix d'une unité de temps trop grande se fait nettement sentir sur le circuit Paris-Bruxelles; on sait qu'elle est de cinq minutes. Nous avons relevé, pour 10 jours du mois de mai dernier et 10 du mois

de décembre courant, le nombre des conversations, échangées de midi à 3 heures, ayant duré 1, 2, 3, 4 et 5 minutes ; les jours de la semaine sont les mêmes de part et d'autre et l'on s'est borné à l'intervalle midi – 3 heures afin de rendre les données plus comparables, les conversations visées étant échangées exclusivement de Bourse à Bourse et pendant les heures de Bourse, c'est-à-dire entre gens qui faisaient des affaires semblables.

Or, deux mois et demi après l'ouverture du service (*) (5-14 mai), on trouve 62 communications d'une minute, 127 de 2, 96 de 3, 42 de 4, 49 de 5, soit 285 conversations de 3 minutes et au-dessous et 91 de plus de 3. Au mois de décembre (1-10), nous avons 174 conversations de 3 minutes et au-dessous et 222 de plus de 3. Celles de 1 minute ont disparu, celles de 2 sont tombées à 53, celles de 3 sont montées à 121, celles de 4 à 83 et celles de 5 à 139. Encore avons-nous fait bénéficier la catégorie des conversations courtes des excédants sur 5 minutes présentés par certaines conversations longues, ce qui est correct au point de vue de la répartition des taxes, mais ce qui masque l'immobilisation de la ligne par les correspondants lents, qui éloignent les correspondants actifs. En somme, les conversations au-dessous de 3 minutes représentaient en mai 75,80 p. 100 du nombre total et sept mois après 43,90 p. 100 seulement; la proportion était renversée et la durée moyenne passait, au détriment du Trésor et de la rapidité du service, de 2^{min},70 à 3^{min},78, soit 40 p. 100 d'augmentation et peut-être davantage, car lorsque les conversations sont courtes, on a beaucoup de chances

(*) Le service a été ouvert le 24 février.

pour imputer à la conversation le temps consacré à l'échange des avis de service; on ne peut noter à quelle seconde se terminent des conversations qui se succèdent à 1 ou 2 minutes d'intervalle (*).

Si, par surcroît, l'on observe que dans la téléphonie urbaine à abonnements, alors qu'on ne songe point, même instinctivement, à profiter de tout le temps payé, les conversations commerciales durent environ 3 minutes, on arrive à considérer comme beaucoup trop forte la durée de cinq minutes adoptée à une époque où les éléments d'appréciation étaient encore peu nombreux. Aussi de bons esprits considèrent-ils que la durée normale des communications interurbaines devrait être fixée à *trois* minutes (**). — C'est, croyons-nous, la durée adoptée maintenant par l'administration allemande des télégraphes sur la ligne Berlin-Hambourg (***).

Il ne conviendrait pas d'ailleurs de réduire simultanément les taxes déjà trop basses.

La première raison en est que ces taxes sont en général sensiblement inférieures à la valeur du service rendu. Croit-on par exemple qu'en France la taxe d'un franc y soit égale même pour les faibles distances? Les tarifs télégraphiques sont déjà très avantageux au public; or, une conversation téléphonique correspond à deux télégrammes l'un expédié, l'autre reçu, soit, en moyenne, à une transmission télégraphique de 30 mots — coût 1f,50 —; au lieu de se faire attendre 3 ou

(*) Trois ou quatre fois, dans les premiers mois, on a donné jusqu'à 30 et 31 communications en une heure par circuit unique; c'est là un fait absolument exceptionnel, tenant à ce que les bourses étaient fort agitées et à ce que les correspondants ne perdaient pas une seconde.

(**) Diverses compagnies entrent dans cette voie.

(***) *Bulletin international de l'électricité*, 26 septembre 1887.



4 heures, la réponse est instantanée, les renseignements sont plus complets : le service rendu justifierait et au delà la taxe minima de 2 francs par conversation.

La seconde raison est que, pour le présent, l'influence de la téléphonie sur les recettes télégraphiques est indéterminée ; l'expérience est trop courte et trop restreinte : les uns voient, pour l'avenir au moins, dans la téléphonie, un stimulant à la correspondance télégraphique ; d'autres pensent qu'elle lui fera une concurrence de plus en plus dangereuse. Sans aller aux extrêmes, il est fort possible qu'au début les recettes télégraphiques fléchissent mais pour se relever ensuite et à bref délai ; comme on ne peut supprimer les frais de l'exploitation télégraphique avant de connaître au juste la puissance du nouvel instrument, il faut prévoir, pour l'éviter, le cas où l'ensemble des deux services serait en déficit et ménager aux insuffisances possibles des recettes télégraphiques une compensation dans les bénéfices venant de celles téléphoniques.

Enfin et surtout, nous croyons les taxes basses directement contraires aujourd'hui aux intérêts qu'elles sembleraient servir. Par là on offre au public des facilités en apparence accessibles à tous et qu'on est en fait très empêché de donner. En ce qui concerne, dans plusieurs pays, la téléphonie interurbaine, on doit actuellement compter avec l'exiguïté des moyens et la pauvreté de l'outillage. L'important est d'abord de faire un bon service, c'est-à-dire prompt. Les correspondants s'inquiètent peu d'avoir la communication ; ce qu'ils veulent, c'est l'avoir de suite. D'autre part, les conditions dans lesquelles on opère sont assez défectueuses. On n'a, pour s'en convaincre, qu'à examiner l'allure du service comme nombre de communications :

nous laissons de côté les moyennes journalières qui n'ont aucun sens, les moyennes horaires qu'on en tire ne signifiant rien; ce n'est pas à sept heures du matin qu'on communique. Si l'on construit la courbe du nombre de communications suivant les heures du jour, on s'aperçoit qu'il existe des maxima et des minima très marqués, et bien qu'il soit illogique en principe d'attribuer un caractère général à des faits exceptionnels, c'est sur les nombres voisins des maxima que nous nous guiderons ici parce qu'ils représentent la partie principale du service : en réalité ils répondent non pas à des faits exceptionnels, mais à des faits périodiques résultant des mœurs; les habitants d'une même localité ont des habitudes semblables et se reposent ou travaillent aux mêmes heures ; s'il n'existait quelques industries d'un caractère spécial (affaires de bourse, journalisme), certaines heures resteraient complètement inoccupées au milieu de la journée. Nous avons relevé pour tous les jours ouvrables des quatre semaines comprises entre le 18 septembre et le 16 octobre le nombre de communications échangées entre Paris et le Havre pendant les différentes heures (*); les résultats journaliers trouvés pour chaque heure ont été totalisés et l'on a construit avec ces données la courbe ci-contre (*fig.* 14), où les intervalles horaires sont portés en abscisses et le nombre total correspondant aux communications pendant les 24 jours ouvrables est porté verticalement. L'on y voit que le maximum se rencontre pour la période de dix à onze heures du matin, où dans ces 24 jours on a donné en tout 158 communications. Des relevés plus prolongés fourniraient une courbe plus exacte; il serait

(*) Voir *Journal télégraphique de Berne*, 25 octobre 1887, un relevé semblable pour une journée du bureau de Montréal.

intéressant de renouveler l'opération de temps à autre, afin d'éliminer progressivement l'influence des variations accidentelles. Ce que nous retiendrons, c'est

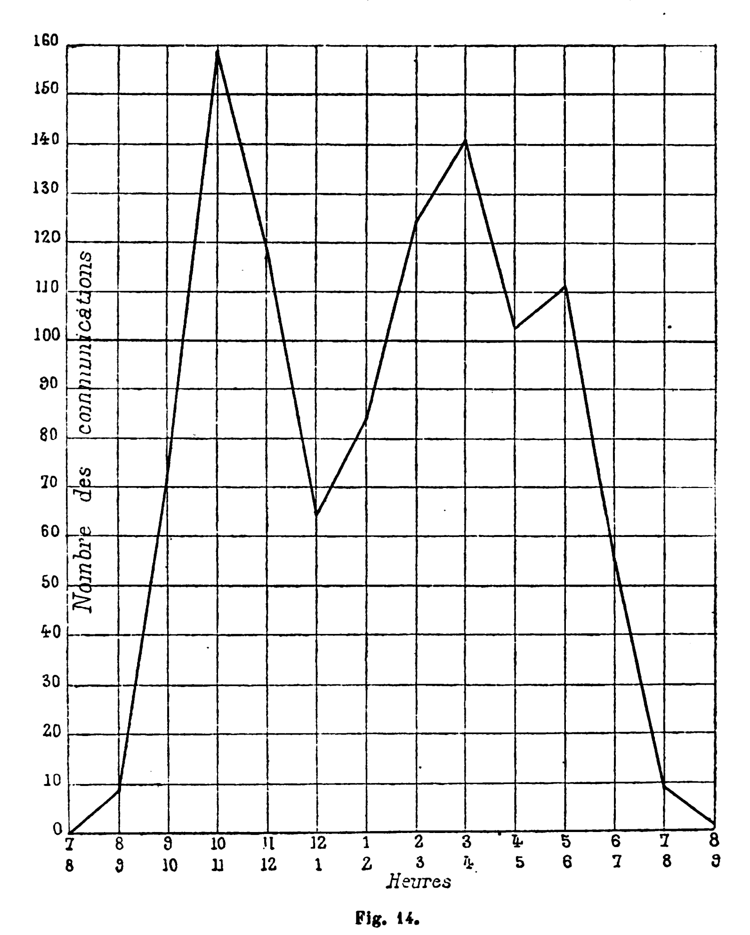


Fig. 14.

l'existence bien accusée des maxima dénotant l'afflux des correspondants à certains moments, afflux qui occasionne un encombrement dont on n'a là qu'un indice.

Les attentes de trois et cinq quarts d'heure qui se produisent alors sont la négation du service téléphonique; quand ces encombrements se répètent, les intéressés considèrent comme aléatoire l'obtention des communications et renoncent à tirer du téléphone le parti qu'ils en espéraient. Il arrive souvent même qu'une communication trop longtemps attendue est refusée par le demandeur lorsqu'enfin on la lui donne, et le résultat le plus net, outre le mécontentement suscité, est une perte de temps. Cet inconvénient naîtra toutes les fois qu'une taxe trop basse amènera un nombre de correspondants supérieur à celui que peuvent normalement desservir les lignes. Or ce nombre est bien faible; en pratique on ne peut compter sur plus de 8 ou 9 communications par circuit et par heure. Une taxe relativement élevée, si elle chassait les correspondants qui n'ont qu'un intérêt insignifiant à communiquer, permettrait d'obtenir un service régulier : la régularité mathématique est une chimère; mais ce serait assez, dans l'immense majorité des cas, que les retards, aux heures les plus chargées, n'atteignissent pas une demi-heure. Nous croyons très possible d'établir une taxe capable d'amener ce résultat, sans diminuer aux heures plus calmes le nombre des communications : les correspondants ne seront peut-être pas les mêmes qu'avec les taxes basses; mais on aurait simultanément amélioré l'exploitation et accru les recettes. Donc, si la taxe inférieure que l'on se proposera d'appliquer dans l'avenir est rémunératrice, comme elle doit l'être, il existe un excédant sur le revenu réservé, et voici l'entreprise en possession des fonds nécessaires à son développement : nous pourrons les affecter directement à l'établissement de nouvelles communications ou

nous en servir pour gager un emprunt. Au fur et à mesure que la puissance du réseau s'accroîtra, l'abaissement des taxes deviendra de plus en plus pratique, parce que la multiplication des besoins sera précédée de la multiplication des moyens d'action (*). Le simple jeu des intérêts aura conduit les commerçants les plus forts à faire à leur insu les affaires des plus faibles en même temps que les leurs.

Le système n'est pas nouveau; c'est celui de l'industrie. — Il est à craindre qu'on ne soit longtemps encore obligé d'en observer les errements sur un autre point; nous faisons allusion aux tarifs variables suivant l'heure et suivant la distance.

Suivant l'heure : nous avons vu combien variait dans le cours d'une journée le nombre de communications par heure. Peut-être devra-t-on, pour conserver l'ordre, établir des surtaxes à certaines heures : et, à d'autres, diminuer les taxes pour ne pas laisser les circuits improductifs (on accorderait, par exemple, sans supplément de taxes, le droit de communiquer quotidiennement à heure fixe). A propos de la question des encombrements, M. de la Gournerie, étudiant « le principe des tarifs dans l'exploitation des chemins de fer » (**) appuie sur cette remarque que, dans la plupart des industries, la production et la consommation présentent des irrégularités qui introduisent des variations dans la valeur des marchandises, et que tous les commerces libres, comme tous les monopoles, ne sont organisés que pour suffire aux besoins ordinaires les

(*) La réforme télégraphique des *six pence* en Grande-Bretagne (1885), a été précédée de l'établissement d'environ 30.000 kilomètres de fils; la dépense totale autorisée à la date du 14 juin 1883 montait à 500.000 livres ou à peu près 1.250.000 francs.

(**) *Bulletin de la Société d'encouragement*, février 1879.

plus larges. M. Nouette Delorme, à qui il emprunte cette dernière observation, cite l'exemple de l'Administration des postes, contre laquelle, disait-il, on ne se révolte pas, lorsqu'au jour de l'an les distributions des correspondances subissent des retards réguliers, et ceci équivaut à une surélévation de prix, puisque, sans diminution de taxes, il y a diminution du service rendu. Nous signalerons dans le même ordre d'idées les télégrammes urgents qui, par la nature des besoins auxquels ils se réfèrent, se rapprochent beaucoup des messages téléphoniques (*).

Suivant la distance : les éléments du prix de revient ont été indiqués. Négligeant ceux qui sont constants quelle que soit la ligne, nous voyons que la longueur de celle-ci intervient sous une double forme, d'abord au carré, puis à la simple puissance. Les termes en L et L^2 prennent rapidement une importance prépondérante. Les charges annuelles variant rapidement avec la longueur de la ligne, si nous voulons conserver un tarif uniforme pour toutes les lignes, nous nous trouverons en face de ce dilemme : exploiter les longues lignes sur une base ruineuse, ou créer des taxes prohibitives pour les lignes courtes. Dans les deux cas, exploitation mauvaise. Plus tard probablement la modération des taxes sur les lignes longues et peu nombreuses pourra être atteinte et l'équilibre pourra s'établir quand la multiplication des lignes courtes à taxes modiques et rémunératrices à la fois permettra de balancer les insuffisances de recettes provenant des premières. D'ailleurs, tout en cherchant à différencier les taxes le

(*) D'après le *Bulletin international de l'électricité* (1887, p. 154), l'administration de l'empire allemand a créé, entre Berlin et Hambourg, la catégorie des messages téléphoniques urgents, à triple taxe.

moins possible, il n'y a pas lieu de s'effrayer du défaut d'unité comme d'une anomalie nouvelle. Le principe en est admis déjà ; on ne songe pas à faire payer du même prix les conversations intra et interurbaines. Seulement il convient d'éviter la complication.

Pour saisir l'influence de la longueur des lignes sur les charges annuelles, faisons le calcul pour 300 et 600 kilomètres sur les bases indiquées plus haut.

A. — I. *Les fils servent exclusivement à la téléphonie.*

	ORIGINE DES DÉPENSES	Pour 300 kilomèt.		Pour 600 kilomèt.	
		fr.	fr.	fr.	fr.
Premier établissement.	*a*) Prix du fil	81.081	.....	324.324	
	b) Frais de pose du fil	45.000	.....	90 000	
	c) Antiinduction des fils télégraphiques voisins	10.000 3.000	.....	10.000 6 000	
	d) Cabines et microphones	1.800	.....	1.800	
		140.881		432.124	
	f) Frais généraux, 5 p. 100	7.044	.....	21.606	
	Total	147.925	.....	453.730	
	Soit	147.900	.....	453.700	
	Annuité pour intérêt et amortissement (0,137 231)	20.296	.....	62.261	
	Soit	.....	20.300	.....	62.250
Entretien et exploitation.	*g*) Entretien de la ligne	15.000	.....	30.000	
	h) Entretien des appareils	560	.....	560	
	j) Locations	625	.....	625	
	k) Traitements	4.600	.....	4.600	
		20.785		35.785	
	l) Frais généraux, 5 p. 100	1.039	.....	1.789	
	Total	21.824	.....	37.574	
	Soit	.....	21.800	.....	37.600
Dépense annuelle		.....	42.100	.....	99.850
Qui serait couverte par 15.000 communications à		.....	2f,81	.....	6f,66

Remarques. — *a*) On admet, dans la formule de la page 505, $R = 21\omega$, $p = 7^{kg},15$, $s = 3^{f}$ (*).

(*) Ce prix n'est pas celui payé jusqu'ici pour le bronze ; mais la ma-

b) Frais calculés à raison de 150 francs par kilomètre pour l'ensemble des deux fils.

g) Dans les frais d'entretien sont compris les droits d'usage ou redevances dont se trouve grevée l'entreprise vis-à-vis des compagnies privées (États-Unis) ou de l'Etat (Grande-Bretagne) pour utilisation de leurs appuis télégraphiques.

Nous supposons que les droits d'usage et les frais d'entretien réunis reviennent à 50 francs par kilomètre de circuit bifilaire.

j) Calculées sur le pied de 6^{m2},25 à chaque extrémité à 50 francs le mètre en moyenne.

Nous considérons comme suffisante la prévision de 15.000 communications par an, c'est-à-dire 50 par jour pendant 300 jours. Les dérangements suppriment quelques journées de travail. De plus, si quelques circuits donnent assez souvent de 70 à 80 communications, ils ne les donnent pas régulièrement : si un circuit en fournit régulièrement 70, il est déjà tard pour en construire un second dans la même direction et ce dernier n'amènera peut-être pendant quelque temps qu'un surplus de 20 communications à peine, nombre qui est appréciable puisqu'il représente une augmentation de 28,5 p. 100, mais qui laisse une moyenne de 45 communications seulement par circuit.

Des lignes dans des conditions tout à fait particulières, comme celle de Bruxelles, ne donnent aucun renseignement sur ce point. Il y a là un public de financiers et de journalistes qui n'existe pas partout.

tière première, le cuivre, subissant en ce moment un mouvement de hausse, nous pensons qu'il est plus conforme aux probabilités d'admettre le prix de 3.000 francs la tonne que les prix antérieurs.



Et, pour les communications de journaux, à comprendre dans les prévisions, il faut encore faire attention; l'heure à laquelle les correspondances de journaux ont à se produire peut très bien, sur certaines directions, coïncider avec l'heure des transactions commerciales et ne pas fournir du tout un surcroît de communications.

II. — *Les fils servent en même temps à la télégraphie.*

Il est difficile d'apprécier la part qui revient à la télégraphie dans les frais de premier établissement, car la ligne téléphonique fournit de nouveaux conducteurs dont on profite, mais qu'on aurait souvent hésité à poser *de suite* s'ils avaient été destinés exclusivement à la télégraphie. L'évaluation changera d'un cas à l'autre. Dans l'incertitude, on se contentera ici d'imputer à la télégraphie la totalité des frais d'entretien *g*) de la ligne.

Il reste au compte de la téléphonie :

	Pour la ligne de 300 kilomètres.	Pour la ligne de 600 kilomètres.
Une dépense annuelle de	20.300 + 6.074 = 26.374 fr.	62.250 + 6.074 = 68.324 fr.
Qui serait couverte par 15.000 communications à.............	1f,76	4f,56

B. — Le capital de premier établissement pourra être avancé par les intéressés à revenu perdu, mais avec remboursement de 1/10 par an.

On obtient alors :

I. — *Fils servant exclusivement à la téléphonie.*

	Ligne de 300 kilomètres.	Ligne de 600 kilomètres.
Dépense annuelle.....	14.790+21.800=36.590 fr.	45.370+37.600=82.970 fr.
Qui serait couverte par 15.000 communications à.............	2f,44	5f,54

II. — *Fils servant en même temps à la télégraphie.*

	Ligne de 300 kilomètres.	Ligne de 600 kilomètres.
Dépense annuelle.	14.790 + 6.074 = 20.864 fr.	45 370 + 6.074 = 51.444 fr.
Qui serait couverte par 15.000 communications à.	1f,40	3f,43

Le diamètre correspondant, d'après les formules, à 300 kilomètres est presque exactement de 2mm,5. Au-dessous de 300 et jusqu'à 50 kilomètres nous n'en prendrons pas un plus faible; il faut accroître, en effet, la conductibilité quand les dépenses de premier établissement n'y font pas obstacle; de plus, la résistance mécanique totale ne peut être indéfiniment abaissée; enfin, nous croyons qu'on n'évitera pas de mettre en communication les lignes rayonnant à 100 et 150 kilomètres d'un centre téléphonique, ce qui reconstituera des lignes de 300 kilomètres. Les lignes neuves seront de préférence construites en fil de bronze, même pour les courtes distances (50 kilomètres). Le tableau ci-dessous renferme les évaluations similaires des précédentes en ce qui concerne des lignes de 200, 150, 100 et 50 kilomètres à deux fils de bronze de 2mm,5. La somme fixe pour anti-induction des fils voisins, a été réduite à 5,000 fr.

A. — Capital emprunté :

	ORIGINES DES DÉPENSES	Pour 200 kilomèt.		Pour 150 kilomèt.		Pour 100 kilomèt.		Pour 50 kilomèt.	
	I. — Fils servant exclusivement à la téléphonie.								
		fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Premier établissement.	a) Prix du fil.	54.054	. . .	40.540	. . .	27.027	. . .	13.513	
	b) Frais de pose du fil.	30.000	. . .	22.500	. . .	15 000	. . .	7.500	
	c) Antiinduction des fils télé-	5.000	. . .	5.000	. . .	5.000	. . .	5.000	
	graphiques voisins . . .	2.000	. . .	1.500	. . .	1.000	. . .	500	
	d) Cabines et microphones. .	1.800	. . .	1.800	. . .	1 800	. . .	1.800	
		92.854		71.340		49.827		28.313	
	f) Frais généraux, 5 p. 100. .	4.642	. . .	3.567	. . .	2.491	. . .	1.415	
	Total.	97.496	. . .	74.907	. . .	52.318	. . .	29.728	
	Soit.	97.500	. . .	74.900	. . .	52.300	. . .	29.700	
	Annuité pour intérêt et amortissement.	13.380	. . .	10.279	. . .	7.177	. . .	4.075	
	Soit.	. . .	13.400	. . .	10.300	. . .	7.200	. . .	4.100
Entretien et exploitation.	g) Entretien de la ligne. . . .	10.000	. . .	7.500	. . .	5.000	. . .	2.500	
	h) Entretien des appareils . .	560	. . .	560	. . .	560	. . .	560	
	j) Locations.	625	. . .	625	. . .	625	. . .	625	
	k) Traitements.	4.600	. . .	4.600	. . .	4.600	. . .	4.600	
		15.785		13.285		10.785		8.285	
	l) Frais généraux, 5 p. 100. .	789	. . .	664	. . .	539	. . .	414	
	Total.	16.574	. . .	13.949	. . .	11.324	. . .	8.699	
	Soit.	. . .	16.600	. . .	13.950	. . .	11.300	. . .	8.700
	Dépense annuelle	. . .	30.000	. . .	24.250	. . .	18.500	. . .	12.800
	Qui serait couverte par 15 000 communications à	. . .	2 fr.	. . .	1^{f},62	. . .	1^{f},24	. . .	0^{f},86
	II. — Fils servant en même temps à la télégraphie.								
	Dépense annuelle.	19.474 fr.		16.374 fr.		13.274 fr.		10.174 fr.	
	Qui serait couverte par 15.000 communications à	1^{f},30		1^{f},10		0^{f},89		0^{f},68	

B. — Capital avancé à revenu perdu, remboursable en dix ans par 1/10.

	Pour 200 kilomèt.	Pour 150 kilomèt.	Pour 100 kilomèt.	Pour 50 kilomèt.
I. — Fils servant exclusivement à la téléphonie.				
Dépense annuelle.	26.350 fr.	21.440 fr.	16.530 fr.	11.670 fr.
Qui serait couverte par 15.000 communications à	1^{f},76	1^{f},43	1^{f},11	0^{f},78
II. — Fils servant en même temps à la télégraphie.				
Dépense annuelle.	15.824 fr.	13,564 fr.	11.304 fr.	9.046 fr.
Qui serait couverte par 15.000 communications à	1^{f},06	0^{f},91	0^{f},76	0^{f},61

On sera certainement amené à construire des lignes de pareilles longueurs et qui ne donneront pas 15.000 communications par an ; les taxes indiquées seraient donc trop faibles.

Dans les pays où le bronze a été presque exclusivement employé, il serait intéressant d'expérimenter, sur des lignes peu étendues, le cuivre dur qui, appliqué aux longues lignes pourrait procurer une économie appréciable ; il a été livré jusqu'à 15 p. 100 meilleur marché que ne l'a été le bronze au plus bas prix dont nous ayons eu connaissance et l'on a vu l'appréciation favorable portée sur cette matière par les chefs du Post Office anglais.

Pour les distances inférieures à 50 kilomètres, il suffira d'avoir du fil de 2 millimètres, à moins, bien entendu, qu'on n'ait l'intention de les relier à de longues lignes.

Les données numériques ci-dessus ne sont pas absolues; plusieurs causes peuvent les faire varier, entre autres le cours du cuivre et le coût de la main-d'œuvre; mais elles montrent le rôle des éléments divers de la dépense et donnent une indication sur l'échelle des tarifs. On remarquera en particulier combien l'utilisation des fils par la télégraphie réduit les charges annuelles. C'est dans cette voie qu'on trouvera probablement les moyens d'atténuer sans péril les taxes téléphoniques afférentes aux longues lignes ; c'est, en effet, sur les directions qu'elles desservent qu'on manque principalement de conducteurs télégraphiques ou du moins qu'on a le plus besoin d'en établir, et dans de bonnes conditions de conductibilité. Il y a là une cause de nivellement *relatif* entre les tarifs des lignes longues et ceux des lignes courtes. *A priori*,

les premiers ($6^f,66$ pour 600 kilomètres) (*) sembleraient prohibitifs, bien qu'ils soient calculés uniquement de manière à ne pas constituer l'entreprise en perte dans l'hypothèse où l'on s'est placé. Mais, suivant la proportion où les frais d'établissement et d'entretien auront un caractère télégraphique, ces tarifs pourraient être notablement abaissés. En outre, les fortes taxes effraient beaucoup moins qu'on ne l'imagine le public commercial; un des intéressés nous a même déclaré à ce sujet qu'un commerçant ne sachant pas dépenser 20 francs pour une affaire ne serait pas un commerçant véritable; c'est aller un peu loin, mais, sans demander des taxes de 20 francs, nous croyons que, pendant un certain temps et jusqu'à ce qu'on soit fixé sur les résultats d'une exploitation d'*ensemble*, il n'y a pas à reculer devant l'application des taxes qui résultent de la longueur de la ligne et de son mode de fonctionnement. La marchandise de haut prix, a-t-on dit à propos de la tarification des chemins de fer, supporte facilement les taxes de transport; — son écoulement est facilité par ailleurs, tandis que la marchandise courante est forcée de calculer jusqu'aux frais les plus minimes. Il en est ainsi des communications téléphoniques. La valeur en est extrêmement variable et, par suite, le prix en peut être modifié dans de larges limites; la communication à 200 ou 300 kilomètres est déjà tout autrement appréciable qu'une communication à 4 ou 5 et le correspondant n'hésitera pas, pour l'avoir, à quintupler ou décupler sa dépense. Entre New-York et Philadelphie, dont la distance est celle de Paris à Reims, la taxe est de 5 francs (1 dollar). On objecte parfois que dans ces conditions la télégraphie doit

(*) Dans les mêmes conditions, on trouve, pour 900 kilomètres, $12^f,06$.

opposer une concurrence ruineuse ; un ingénieur de la Compagnie propriétaire, naturellement porté, par conséquent, à s'exagérer le danger, répond à cela qu'il n'en est rien et que, comme la poste, comme le télégraphe lui-même, le téléphone a un champ d'activité propre et bien distinct. « Aucun individu ne paiera un dollar pour un message téléphonique s'il peut atteindre le même résultat par l'envoi d'un télégramme de 10 cents (0^{f},50) (*); mais il ne dépensera pas davantage 10 cents pour un télégramme si une carte postale de 1 cent lui suffit. Si la téléphonie à longue distance est en compétition avec une industrie existante, c'est avec celle des chemins de fer, de la même manière à peu près que la téléphonie locale empièterait sur l'industrie des voitures et des omnibus. » On ne voit pas, d'ailleurs, que les compagnies locales de transport et de téléphonie souffrent beaucoup de la concurrence. Ce qui est probable, c'est que la téléphonie suburbaine, régionale et interrégionale facilitera l'établissement des usines dans les campagnes ou dans les localités les mieux appropriées naturellement, et donnera, plus encore que la poste et le télégraphe, le moyen d'en éviter l'agglomération dans les grands centres.

20 décembre 1887.

G. DE LA TOUANNE.

(*) La comparaison des prix entre l'ancien et le nouveau monde peut donc se faire, indépendamment de la valeur de l'argent de part et d'autre, puisque l'on met ici en parallèle deux taxes, l'une téléphonique, l'autre télégraphique, et que celle-ci est précisément la taxe fondamentale admise en France.

NOTE

SUR L'EMPLOI DU FIL DE CUIVRE

POUR LES LIGNES AÉRIENNES

Dans une lecture faite à l'assemblée annuelle de l'Association britannique pour l'avancement des sciences, à Manchester, en septembre 1887, M. W.-H. Preece, membre de la Société royale des sciences de Londres, a donné de très intéressants détails sur l'emploi du fil de cuivre durci pour la construction des lignes anglaises.

Au moment où l'emploi du cuivre tend à se généraliser, nous croyons utile de donner le résumé de cette communication d'après le *Journal télégraphique de Berne* du 25 octobre 1887, en y ajoutant quelques mots sur l'emploi du bronze silicieux en France. Les mesures anglaises ont été traduites en mesures françaises pour rendre la comparaison plus facile.

M. Preece, après avoir rappelé les bons résultats obtenus sur la ligne de Londres à Newcastle par l'emploi d'un fil de cuivre pur et étiré à forte trempe, fait connaître que l'administration anglaise a établi une ligne directe de quatre fils de cuivre entre Londres et Dublin, par le pays de Galles, avec câble sous-marin entre Nevin et Newcastle. Les résultats obtenus ont dépassé toute attente, et la vitesse de transmission a

été considérablement augmentée. M. Preece attribue cette amélioration à la faible inertie électromagnétique du cuivre, qui peut être considérée comme pratiquement nulle.

Le fil employé sur la ligne galloise est le fil n° 12 $^1/_2$ de la jauge de Birmingham ; il a un diamètre de $2^{mm},46$ et un poids de $42^k,2$ par kilomètre. Il offre une résistance de $3^{ohms},75$ par kilomètre, à la température de 15°,5 C. Sa limite de résistance à la rupture est, d'après les mesures, de 222 kilogrammes, ce qui correspond à une résistance de 47 kilogrammes par millimètre carré.

La longueur totale de la ligne entre Londres et Nevin est de 435 kilomètres, dont 28 kilomètres sont placés sous terre. Lors de la construction de la ligne, sa résistance était de $3^{ohms},54$ par kilomètre, à une température de —1°,11 C., sa capacité de $0^{microfarad},0082$ par kilomètre, et son isolement de 112 mégohms par kilomètre à la même température.

Le tableau suivant reproduit le résumé des données relatives aux différents fils de cuivre employés par l'administratiou britannique :

POIDS par kilomètre			ÉQUIVALENT approximatif de diamètre			RÉSISTANCE minima à la rupture	NOMBRE minimum de torsions sur $7^{cm},6$	RÉSISTANCE électrique maxima par kilomètre à 15°,5 C	POIDS par botte
Poids type	Poids minimum	Poids maximum	Type	minimum	maximum				
kil.	kil.	kil.	millim.	millim.	millim.	kil.		ohms légaux	kil.
28	27,3	28,7	2	1,975	2,025	150	30	5,65	22,7
42,2	41,2	43,2	2,46	2,422	2,485	222	25	3,75	22,7
56,4	55	57,8	2,84	2,802	2,871	295	20	2,82	22,7

Poids par kilomètre, 7 d^2. — Densité du cuivre durci, 8,9.

Le fil est soumis à un examen très rigoureux. On le jauge, et on mesure très soigneusement sa malléabilité et sa résistance à la tension. Il est enroulé en six tours sur son propre diamètre, puis déployé et de nouveau enroulé de la même manière que la première fois, et il doit pouvoir subir cette opération sans se rompre. Cela fait, on en saisit un morceau dans deux étaux placés à une distance de $7^{cm},62$ l'un de l'autre ; l'un reste fixe, tandis qu'on tourne lentement l'autre jusqu'à ce que le fil vienne à se rompre. Le nombre de tours de torsion auquel le fil résiste est indiqué par une marque à l'encre faite sur la surface du morceau de $7^{cm},62$, avant que l'expérience commence et qui forme, lorsque le fil est tordu, une spirale dont le nombre de circonvolutions est aisément compté.

On mesure le fil à la tension en le soumettant directement à une traction, que l'on augmente lentement jusqu'à ce que le fil vienne à se rompre.

Le tableau ci-après donne la moyenne de quelques essais qui ont été récemment opérés aux usines d'Oakamoor de MM. Bolton & Sons.

DÉSIGNATION du fil	DIAMÈTRE	NOMBRE DE TORSIONS sur une longueur de $7^{cm},62$	PLOIEMENT ET DÉPLOIEMENT du fil sur son propre diamètre				CHARGE DE RUPTURE	RÉSISTANCE par kilomètre à 15°,5 C
			Ploiement	Déploiement	Ploiement	Déploiement		
	millim.						kil.	ohms.
Type.	2,46	25	6	6	6	»	222	3,75
Moyenne de 12 essais. .	2,47	32	6	6	6	6	234	3,60

Les essais ont donné, dans tous les cas, des résul-

tats supérieurs aux chiffres exigés. La charge de rupture correspond à $48^{k},9$ par millimètre carré. La résistance moyenne de $3^{ohms},60$ par kilomètre correspond, pour un diamètre de $2^{mm},47$, à environ 98 p. 100 de cuivre pur.

Le succès dépend tellement du soin et de l'exactitude qu'on apporte à la pose des fils, que l'on s'est vu obligé d'introduire une méthode tout à fait nouvelle pour cette opération.

Jusqu'à présent, on avait eu l'habitude de régler la courbe d'inclinaison des fils en prenant pour base une flèche de $0^{m},61$ pour une longueur de $91^{m},44$ et en y apportant les changements qu'indiquaient les différences dans les portées et les différences de la température. Mais les chefs d'équipe se laissaient guider par le toucher et réglaient les courbes à vue d'œil. Comme ce système ne pouvait être admis pour la construction des lignes à fil de cuivre, on a imaginé des dynamomètres et des vis de traction spéciaux, que l'on a pourvus de ressorts Salters, et qui sont convenablement gradués, et par ce moyen, la tension du fil est toujours exactement réglée.

Le tableau ci-après donne les flèches et les tensions correspondantes des fils de fer et de cuivre par des températures variables. Il est basé sur les types donnés ci-dessus par chaque genre de conducteur, et il est calculé de manière à laisser un coefficient de sécurité égal à 1/4.

DESCRIPTION DU FIL	PORTÉE EN MÈTRES	TEMPÉRATURE — 5°,5 C basse température d'hiver		+ 4°,4 C température ordinaire d'hiver		+ 14°,4 C température ordinaire d'été		+ 24°,4 C haute température d'été	
		Flèche	Tension	Flèche	Tension	Flèche	Tension	Flèche	Tension
		mèt.	kil.	mèt.	kil.	mèt.	kil.	mèt.	kil.
Fil de fer de 4mm,38.	91,4	0,96	104	1,14	102,8	1,30	91	1,44	81,5
	82,1	0,778	104	0,96	99	1,11	86	1,24	76,5
	73	0,615	104	0,79	95,5	0,93	81	1,05	71
	64	0,47	104	0,64	90	0,775	74,5	0,89	65
	54,9	0,345	104	0,508	83,5	0,63	67	0,73	58
	45,7	0,24	104	0,395	75	0,50	59	0,59	50
Fil de fer de 3mm,23.	91,4	0,96	61,3	1,14	51,5	1,30	45,4	1,44	40,8
Fil de cuivre de 2mm,46.	91,4	0,81	54,5	1,09	40,5	1,32	33,5	1.51	29
	82,1	0.66	54,5	0,94	38	1,15	31,2	1,32	27,2
	73	0,518	54.5	0,785	36,2	0,98	29	1,14	24,7
	64	0,395	54,5	0,655	33	0,825	26	0.98	22,2
	54,9	0,295	54,5	0,535	30	0,69	23	0,82	19,5
	45,7	0,203	54,5	0,447	26,2	0,56	20	0,67	16,6
Fil de cuivre de 2mm.	91,4	0,81	36,2	1,09	26,7	1,32	22,2	1,51	19,5

Comme minimum de la température, on a pris — 5°,6 C. Pour la température ordinaire de l'hiver, on peut prendre + 4°,4 ; pour la température moyenne de l'été + 14°,4, et celle d'une journée chaude 24°,4.

Ces chiffres remplissent le même but pratique que l'usage d'un thermomètre qui, s'il est exposé au soleil, n'indiquerait pas, dans la règle, la température réelle d'un fil en cours de pose.

La tension, telle qu'elle est mesurée par les nouveaux dynamomètres, devrait, dans tous les cas, correspondre à celle qu'indique le tableau pour un conducteur déterminé et pour une longueur de fil moyenne à la température qui prédomine pendant la construction de la ligne. Cette tension variera pour diverses portées à une même température, mais les chiffres donnés en regard des portées moyennes pour une ligne donnée

quelconque et pour toute température sont ceux dont on fait usage dans la pratique.

Les flèches et les tensions ne varient pas sous l'influence des changements de la température dans la même proportion sur les lignes de fil de fer que sur celles de fil de cuivre, ce dernier métal ayant un coefficient de dilatation plus élevé que le fer. Pour des écartements de moins de 73 mètres, la différence n'est pas assez sensible pour empêcher de faire courir un fil de cuivre et un fil de fer l'un à côté de l'autre ; mais dès que les écartements dépassent cette longueur, il peut en résulter des contacts, et, dans ce cas, un léger écart des indications de la table est bien admissible pour remédier à cet inconvénient. On peut par exemple, dans des cas spéciaux, augmenter la flèche du fil de cuivre et diminuer celle du fer. Mais, en général, on fera bien de ne pas tendre un fil de fer et un fil de cuivre à côté l'un de l'autre quand la distance entre deux poteaux dépasse 73 mètres.

Pour l'établissement de cette table, on a pris comme base les formules ci-après :

$$f = \frac{a^2 p}{8t}, \quad f = \sqrt{\frac{3a(l-a)}{8}},$$

$$l = a + \frac{8f^2}{3a}, \quad t = \frac{a^2 p}{8f};$$

ou a = la portée, f = la flèche, t = la tension à l'isolateur, p = le poids de l'unité de longueur, et l = la longueur du fil entre deux poteaux.

Coefficient de dilatation linéraire du fer = 0,0000123 par degré centigrade ;
— du cuivre = 0,0000172 par degré centigrade.

Pour du fil de fer de 113 kilogrammes par kilomètre (diamètre, $4^{mm},25$).

$$p = 0^k,113 \text{ par mètre.}$$

Pour les fils de cuivre de 28 kilogrammes, $42^k,2$ par kilomètre.

$$p = 0^k,028, \quad p = 0^k,0422 \text{ par mètre.}$$

Le fil est attaché à l'isolateur au moyen de fil fin de cuivre, et la manière dont cela se pratique est indiquée par la *fig.* 1.

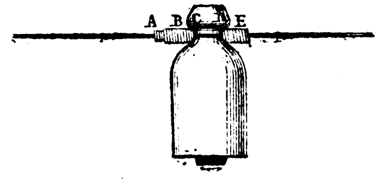


Fig. 1.

Deux fils sont enroulés autour du fil de ligne de B en E, et de là en retour à D; ensuite on les tend, en partant du dessus du fil de ligne, autour du collet de l'isolateur, et on les amène au-dessous du fil de ligne au point C; de là, en formant une seconde couche de spires, on les fait retourner au point B, d'où ils aboutissent comme simple couche de spires au point A.

La longueur de fil requise pour chaque attache est de $1^m,32$ pour un fil conducteur de $42^k,2$, ayant $2^{mm},46$ de diamètre, et de $1^m,02$ pour le fil de 28 kilogrammes, de 2 millimètres de diamètre.

Le fil d'attache n° 17 $^1/_2$ de la jauge de Birmingham pèse 14 kilogrammes par kilomètre et a environ $1^{mm},41$ de diamètre.

Le fil de cuivre exige une manipulation très scrupuleuse.

Les fissures, les entailles, les éraflures, les coques et autres lésions de ce genre agissent pour ainsi dire de la même manière que les éraflures de diamant sur

le verre. On a imaginé des tambours spéciaux pourvus de freins et construits de telle sorte que les bottes de fils puissent être déroulées en tension afin d'éviter les coques.

Les joints adoptés sont les joints Britannia ordinaires que l'on fait avec du fil étamé n° 20 (diamètre $0^{mm},89$); pour la soudure, on fait usage du chlorure de zinc ou de la solution Baker.

Il est seulement nécessaire d'éviter une application continue de la chaleur, car la chaleur adoucit et affaiblit le fil; une condition essentielle est donc de souder promptement.

Le fil de cuivre ne subissant pas pratiquement les effets de l'inertie électromagnétique ou de la *self induction*, sa constante de retard ou le retard qu'il exerce sur la propagation de l'onde électrique est simplement le produit de sa capacité K et de sa résistance R.

KR est de 0,081 par kilomètre pour du fil de fer de 113 kilomètres ($4^{mm},25$ de diamètre).

Et de 0,0303 pour du fil de cuivre de $42^{k},2$ ($2^{mm},46$ de diamètre).

Mais le fer a une inertie électromagnétique qui retarde encore plus la vitesse de transmission; par conséquent, cette dernière devrait être au moins trois fois plus grande sur un conducteur de cuivre aérien que sur un conducteur de fer.

M. Preece fait remarquer que cette influence de la self induction est extrêmement difficile à expliquer, et que le moyen consistant à recourir à une analogie pour rendre l'explication plus nette et plus précise ne sert souvent qu'à augmenter encore plus la confusion. Nous ne donnerons donc pas l'analogie qu'il développe.

Quoi qu'il en soit, dit-il en concluant, cette self in-

duction ou, comme elle est plus généralement connue dans son acception générale, l'inertie électromagnétique constitue un obstacle sérieux à la rapidité de la transmission télégraphique et aux conversations téléphoniques à grandes distances. Maintenant cet obstacle se trouve éliminé dans la pratique par l'usage du cuivre, que l'on devrait employer généralement pour les lignes téléphoniques à l'exclusion de toute autre matière. Quand elles ont un degré de conductibilité très élevé, les compositions métalliques que l'on appelle bronze phosphoreux et bronze silicieux sont en réalité presque du cuivre pur et peuvent être classées comme telles.

En France, l'emploi du bronze silicieux pour les lignes télégraphiques aériennes à grande distance tend aussi à se généraliser, et on se sert dès maintenant des fils de 2^{mm}, $2^{mm},5$, 3^{mm} de diamètre correspondant aux fils anglais de 2^{mm}, $2^{mm},46$, $2^{mm},84$. La différence tient évidemment à ce que le système métrique n'est pas encore adopté en Angleterre.

Les conditions imposées par le cahier des charges sont les suivantes. La conductibilité ne doit pas être inférieure à 96 p. 100 du cuivre pur, la charge de rupture à 45 kilogrammes par millimètre carré, et l'allongement au moment de la rupture ne doit pas dépasser 1 p. 100. Le fil doit pouvoir, sans se rompre, être plié huit fois à angle droit, alternativement dans les deux sens. La livraison a lieu en couronne de 300 mètres.

La densité du bronze silicieux est plus grande que celle du cuivre durci. Elle est variable, mais on peut adopter comme moyenne 9,15 d'après les poids types. D'après *l'Électricien* (16 juillet 1887), cette densité peut atteindre 9,6 dans certaines usines.

Le tableau suivant résume les données relatives aux fils français :

DIAMÈTRE type	POIDS kilométrique	RÉSISTANCE minima à la rupture	RÉSISTANCE des essais à la rupture	OBSERVATIONS
millim.	kil.	kil.	kil.	
2	28,8	142	150	Correspondant à 47 kilog. par millimètre carré.
2,5	45	220	230	
3	64,8	320	334	
Poids kilométrique, $7{,}2d^2$. — Densité, 9,15				

Les résistances électriques à volume égal sont calculées pour diverses températures dans le tableau suivant pour une conductibilité de 96 p. 100 du cuivre pur et pour le cuivre pur lui-même, en prenant pour coefficient d'augmentation de résistance par degré 0,0039, et pour étalon le fil de cuivre pur de 1 millimètre de diamètre ayant $20^{\text{ohms}},34$ légaux par kilomètre ou $20^{\text{ohms}},57$ B.A.

TEMPÉRATURES	FIL DE 2^{mm}		FIL DE $2^{mm},5$		FIL DE 3^{mm}	
	à 96 p. 100	à 100 p. 100	à 96 p. 100	à 100 p. 100	à 96 p. 100	à 100 p. 100
	ohms.	ohms.	ohms.	ohms.	ohms.	ohms.
0°	5,30	5,09	3,39	3,25	2,35	2,26
5	5,40	5,19	3,45	3,31	2,40	2,30
10	5,51	5,29	3,52	3,37	2,44	2,34
15	5,61	5,39	3,58	3,43	2,49	2,39
20	5,72	5,49	3,65	3,49	2,53	2,43
25	5,82	5,59	3,71	3,55	2,57	2,47
30	5,93	5,70	3,77	3,61	2,62	2,51

Dans une ligne posée récemment d'Orléans à La Palisse, la conductibilité (à volume égal) a varié de 96,5 à 99 p. 100 du cuivre pur, et on peut adopter les chif-

fres moyens suivants pour cette ligne :

		à 0°	à 10°	à 20°
Fil de	2mm,5	3ohms,33	3ohms,46	3ohms,60
	2mm	5 ,11	5 ,31	5 ,52

Comme en Angleterre, la pose des fils de bronze se fait avec des soins spéciaux. Le déroulement des couronnes à l'épaule est interdit, et on se sert de bobines légères en tôle, portées par deux ouvriers, permettant de dérouler les bottes sans coques. Il n'y a pas de frein, mais un ouvrier, en appuyant la main garnie de toile sur les joues, en remplit la fonction. L'une des joues de la bobine est mobile ; en l'enlevant, on introduit la botte avec facilité.

La tension des fils est réglée au moyen d'un dynamomètre d'après la température.

Dans une précédente note (*Annales télégraphiques*, mai-juin 1887) j'ai indiqué une formule donnant la température en fonction de la portée et du coefficient de sécurité adopté.

$$0 = \left(\frac{a^2 d^2}{24\,\alpha_1 q^2} K^2 - \frac{\varepsilon_1 q}{\alpha_1} \frac{1}{K}\right) - \left(\frac{a^2 d^2}{24\,\alpha_1 q^2} K_0^2 - \frac{\varepsilon_1 q}{\alpha_1} \frac{1}{K_0}\right),$$

a étant la portée; d la densité ; q la charge de rupture par millimètre carré ; $\alpha_1 = 10^6.\alpha$, α étant le coefficient de dilatation linéaire du métal. $\varepsilon_1 = 10^6 \varepsilon$, ε étant le coefficient d'allongement par mètre courant et par millimètre carré pour une augmentation de tension de 1 kilogramme.

La température θ est comptée à partir d'une origine choisie pour le coefficient de sécurité donné $\frac{1}{K}$.

J'ai calculé, à l'aide de cette formule, une table donnant la tension pour les fils de fer, en supposant

qu'à 0° la tension est égale au poids kilométrique ou à 1/5ᵉ de la charge de rupture.

On peut faire la même remarque pour le bronze. La densité $d = 9{,}15$; en prenant $q = 45^k{,}75$ (le chiffre de 46 kilogrammes est une bonne moyenne comme on a vu), on a :

$$P = s.d = \frac{sq}{5},$$

c'est-à-dire que le poids kilométrique est égal au 1/5ᵉ de la charge de rupture.

Le coefficient de dilatation linéaire du bronze silicieux est un peu supérieur à celui du cuivre. On prendra :

$$\alpha = 0{,}0000175, \quad \text{c'est-à-dire} \quad \alpha_1 = 17{,}5.$$

Le coefficient d'allongement est très faible et à la rigueur pourrait être négligé. L'expérience prouve qu'au moment de la rupture l'allongement permanent est de 1 p. 100, tandis qu'il est de 6 p. 100 pour le fer; en admettant que la même proportion subsiste avant que la limite d'élasticité ne soit atteinte, ce qui est suffisant pour l'approximation dont on a besoin, on prendra $\varepsilon = 0{,}000009$ ou $\varepsilon_1 = 9$.

En posant $\beta = \frac{K}{5}$ on aura :

$$\theta = \left(\frac{a^2}{24\alpha_1}\beta^2 - \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1}\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{a^2}{24\alpha_1} - \frac{\varepsilon_1 d}{\alpha_1}\right),$$

ou

$$\theta = \left(\frac{a^2}{420}\beta^2 - 4{,}7\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{a^2}{420} - 4{,}7\right).$$

En donnant à β différentes valeurs 0,70, 0,80 jusqu'à 2 correspondant aux coefficients de sécurité 1/3,50, 1/4... 1/10, on trouve la table suivante pour les diverses portées 60^m, 70, 80^m, 90^m et 100^m.

Table des tensions de fils de bronze silicieux à diverses températures.
(Comptées à partir de la température correspondant au coefficient de sécurité 1/5.)

COEFFICIENTS			TENSIONS POUR FILS DE $T=\frac{1}{\beta}P$			FLÈCHES POUR PORTÉES DE $f=f_0\beta$					TEMPÉRATURE CORRESPONDANT aux portées de				
$\frac{1}{K}$ Coefficient de sécurité	$\beta=\frac{K}{5}$	$\frac{1}{\beta}=\frac{5}{K}$	2mm	2mm,5	3mm	60m	70m	80m	90m	100m	60m	70m	80m	90m	100m
			kil.	kil.	kil.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.					
1/3,50	0,70	1,43	41,5	64,5	93	0,31	0,43	0,56	0,71	0,87	— 6°,2	— 8°	— 9°,9	—11°,8	—14°,2
1/4	0,80	1,25	36	56,5	81	0,36	0,49	0,64	0,81	1,00	— 4 ,2	— 5 ,4	— 6 ,8	— 8 ,1	— 9 ,8
1/4,50	0,90	1,11	32	50	72	0,40	0,55	0,72	0,91	1,12	— 2 ,1	— 2 ,7	— 3 ,5	— 4 ,2	— 5 ,1
1/5	1	1	29	45	65	0,45	0,61	0,80	1,01	1,25	0	0	0	0	0
1/5,50	1,10	0,91	26	41	59	0,50	0,67	0,88	1,11	1,37	+ 2 ,2	+ 2 ,9	+ 3 ,7	+ 4 ,5	5 ,3
1/6	1,20	0,83	24	37,5	54	0,54	0,73	0,96	1,21	1,50	4 ,4	5 ,9	7 ,7	9 ,2	11 ,3
1/6,50	1,30	0,77	22	34,5	50	0,58	0,79	1,04	1,31	1,62	6 ,8	9 ,2	11 ,8	14 ,4	+17 ,4
1/7	1,40	0,71	20,5	32	46	0,63	0,85	1,12	1,41	1,75	9 ,4	12 ,7	16 ,3	20	24 ,1
1/7,50	1,50	0,66	19	30	43	0,67	0,91	1,20	1,51	1,87	12	16 ,2	21	25 ,8	31 ,3
1/8	1,60	0,62	18	28	40,5	0,72	0,97	1,28	1,61	2,00	14 ,8	20 ,9	26 ,2	32	39
1/8,50	1,70	0,59	17	26,5	38,5	0,76	1,04	1,36	1,71	2,12	17 ,8	24	31 ,6	38 ,5	47 ,2
1/9	1,80	0,56	16	25	36,5	0,81	1,10	1,44	1,81	2,25	20 ,8	28 ,3	37 ,2	45 ,3	»
1/9,50	1,90	0,53	15	23.5	34,5	0,85	1,16	1,52	1,91	2,37	24	32 ,8	43	»	»
1/10	2	0,50	14,5	22,5	32,5	0,90	1,22	1,60	2,02	2,50	27 ,4	37 ,4	49 ,1	»	»

Comme il a déjà été dit, ces températures ne sont pas forcément des températures absolues, et on peut toutes les augmenter ou les diminuer d'une quantité fixe suivant le coefficient de sécurité qu'on voudra adopter pour les plus basses températures. La portée type adoptée est de 80 mètres, et le coefficient de sécurité limite 1/4. On voit qu'il correspond à — 6°,8 en prenant la table sans changement. Le coefficient 1/6 correspondait à + 7°,7, température moyenne. Il semble donc qu'on doit être dans de bonnes conditions pour éviter les ruptures, et qu'on peut admettre comme pour le fer une tension égale au poids kilométrique à 0° (*).

Pour plus de sécurité, l'administration française a adopté des tensions encore plus faibles, comme il sera dit plus loin.

Avec l'hypothèse admise ci-dessus, faisons la comparaison avec le fil anglais de $2^{mm},46$.

En réduisant les flèches ($0^{m},66$ à $1^{m},32$ de la table anglaise) correspondant à une portée de $82^{m},1$ à ce qu'elles seraient dans une portée de 80 mètres, on trouve une concordance très grande; ce qui était à prévoir, puisqu'on a le même coefficient de sécurité 1/4 pour les grands froids.

(*) Peut-être pourrait-on, au moins à titre d'essai, afin de diminuer le plus possible les chances de mélanges tout en augmentant un peu les chances de rupture, dépasser la tension prise égale au poids kilométrique à 0° et correspondant à 1/5 de la charge de rupture. On pourrait adopter cette tension pour une température de + 10°. Il suffirait d'augmenter dans la table toutes les températures de + 10° et on aurait les tensions et les flèches correspondantes.

Pour une portée de 80 mètres, le coefficient de sécurité 1/4 correspondrait à + 3° et le coefficient 1/3 à — 3°.

FIL ANGLAIS DE $2^{mm},46$				FIL FRANÇAIS DE $2^{mm},5$			
Tension	Coefficient de sécurité	Flèches pour portées de 80^{m}	Température	Tension	Coefficient de sécurité	Flèches pour portées de 80^{m}	Température
kil.		mèt.		kil.		mèt.	
54,5	1/4	0,625	— 5°,6	56,5	1/4	0,64	— 6°,8
38	1/5,75	0,895	+ 4 ,4	37,5	1/6	0,96	+ 7 ,7
31,2	1/7	1,09	+ 14 ,4	32	1/7	1,12	+ 16 ,3
27,2	1/8	1,25	+ 24 ,4	28	1/8	1,28	+ 26 ,2

La flèche est doublée pour un écart de température de 30° pour le fil anglais, et de 33° pour le fil français, parce qu'il a été tenu compte de l'allongement par élasticité.

D'autres auteurs indiquent des tensions beaucoup plus fortes. Ainsi M. Vivarez (*Constructions de réseaux électriques en bronze silicieux*, p. 53) indique pour le bronze à 45 kilogrammes de résistance par millimètre carré des flèches correspondant à un coefficient de sécurité de 1/3,25 à 0°.

Dans la *Lumière électrique*, M. Zetzsche donne un tableau analogue ne différant que pour les degrés au-dessous de zéro. En rapportant les flèches à la portée type de 80 mètres, on trouve les flèches suivantes correspondant à des coefficients de sécurité beaucoup plus forts que dans la table calculée pour une tension égale au poids kilométrique à 0°. Ces coefficients ont été déterminés en supposant que le coefficient 1/5 correspond à une tension égale au poids kilométrique, avec une flèche de 80 centimètres pour la portée de 80 mètres.

TEMPÉRATURE	FLÈCHES	COEFFICIENT de sécurité
	mètre.	
— 10°	0,43	1/2,7
— 5	0,48	1/3
0	0,52	1/3,25
5	0,56	1/3,5
10	0,59	1/3,7
15	0,61	1/3,9
20	0,65	1/4,1

Comme on le voit, le coefficient 1/4 correspond aux températures les plus élevées au lieu des températures les plus basses.

Les tensions adoptées par l'administration française sont beaucoup plus faibles, et sont résumées dans le tableau ci-dessous pour le fil de 2 millimètres en chiffres ronds et pour la portée type de 80 mètres.

TEMPÉRATURE	TENSIONS	FLÈCHES	COEFFICIENT de sécurité
	kil.	mètre.	
+ 5°	20	1,12	1/7
+ 9	19	1,20	1/7,50
13	18	1,28	1/8
17	17	1,36	1/8,50
21	16	1,44	1/9
25	15	1,52	1/9,50

La tension à donner aux fils de calibre différent s'obtient en multipliant par le rapport des carrés des diamètres.

Comme on le voit, le coefficient de sécurité est très faible, 1/8 au lieu de 1/6 aux températures ordinaires. Les chances de rupture sont diminuées, mais les mélanges peuvent se produire plus facilement. C'est à l'expérience à prononcer. Peut-être pourra-t-on adop-

ter les coefficients employés en Angleterre qui, comme je l'ai montré, se confondent avec la règle très simple adoptée pour le calcul de la table, c'est-à-dire : A 0° la tension est égale au poids kilométrique.

Le coefficient d'allongement ε que nous avons adopté pour le calcul de la table ci-dessus donne des résultats qui, comme on l'a vu, concordent bien avec les chiffres donnés dans la communication de M. Preece.

Ce coefficient a une très grande importance si au lieu d'être faible il a une assez grande valeur.

Dans le *Bulletin* de la Société belge d'électriciens M. Cloeren, chef des essais à l'usine d'Anderlecht, fait connaître le résultat d'essais faits sur les fils en bronze phosphoreux fabriqués dans cette usine ; le coefficient d'allongement ε a été trouvé égal à 0,000078, soit plus fort que pour le fer, pour lequel il est 0,000055. Le coefficient de dilatation linéaire est $\alpha = 0,0000165$ et la densité $d = 8,91$. Avec ces données, M. Cloeren a calculé des tables très complètes au moyen d'une équation du 3e degré, donnant les tensions de chaque fil pour diverses portées à différentes températures. Le coefficient de sécurité de 1/4 a été pris correspondant à la température moyenne de + 18°.

C'est, comme on le voit, une tension très forte si on la compare à celle qui est adoptée en France et même en Angleterre.

Voici l'extrait de ces tables pour les fils télégraphiques de 2 et 3mm pour la portée normale de 80 mètres seulement.

TENSIONS POUR FILS		FLÈCHES pour la portée de 80m	TEMPÉRATURE pour la portée de 80m
de 2mm	de 3mm		
kil.	kil.	mèt.	
51,4	115.6	0,44	—10°
48.4	109	0.46	— 5
45,6	102,5	0,49	0
42,8	96,2	0,52	+ 5
40,1	90,2	0,56	10
37,5	84,3	0,60	15
35	78,8	0,64	20
32,7	73,6	0,68	25
30.5	68,7	0,73	30
28,5	64,2	0,79	35
26,7	60	0,84	40

Si dans la formule en Θ, donnée plus haut, on prend

$$\alpha_1 = 16,5, \qquad \varepsilon_1 = 78, \qquad d = 8,91,$$

on aura

$$0 = \left(\frac{a^2}{396}\beta^2 - 42,12\frac{1}{\beta}\right) - \left(\frac{a^2}{396} - 42,12\right)$$

et pour la portée normale $a = 80$ mètres,

$$0 = 16,16\,\beta^2 - 42,12\frac{1}{\beta} + 25,96.$$

En donnant à β différentes valeurs, on obtient la table suivante, pour laquelle la température 0° correspond à une tension égale au poids kilométrique avec la densité 8,91, soit 1/5 de la charge de rupture pour $q = 44,55$.

On remarque qu'en ajoutant environ 36° à toutes les températures de cette table, on obtient exactement les chiffres donnés par M. Cloeren. C'est, en effet, une question de déplacement d'origine dans les deux tables. Dans la première, la tension de 35kg pour le fil de 2mm correspond à + 20, tandis que dans la seconde, la même tension correspond à — 16°, soit une différence de 36°.

COEFFICIENT de sécurité	TENSIONS POUR FILS de 2^{mm}	de $2^{mm},5$	de 3^{mm}	FLÈCHES pour la portée de 80^{m}	TEMPÉRATURE pour la portée de 80^{m}
	kil.	kil.	kil.	mèt.	
1/3	46,8	73	105	0,48	— 38°,3
1/3,5	40	62,5	90	0,56	— 26 ,2
1/4	35	54,8	78,8	0,64	— 16 ,3
1/4,5	31	48,6	70	0,72	— 7 ,7
1/5	28	43,75	63	0,80	0
1/5,5	25,5	39,8	57,2	0,88	+ 7 ,2
1/6	23,5	36,5	52,5	0,96	14
1/6,5	21,5	33,6	48,5	1,04	20 ,8
1/7	20	31,2	45	1.12	27 ,5
1/7,5	18,7	28,2	42	1,20	34 ,1
1/8	17,5	27,3	39,3	1.28	40 ,8
1,8,5	16,5	25,7	37,1	1,36	47 ,8
1/9	15,6	24,3	35	1,44	55

Mais on peut remarquer surtout l'influence du coefficient ε. Plus il est grand, moins les variations de température influent sur les changements de tension, ce qui était à prévoir.

Dans la table calculée avec le coefficient ε =0,000009 admis par analogie d'après les allongements du fer et du bronze silicieux à la rupture, on voit qu'on passe du coefficient de sécurité 1/4 au coefficient 1/6 pour une différence de température de 14°,5. Dans la dernière table au contraire où ε = 0,000078, la différence de température entre les deux mêmes coefficients de sécurité atteint 30°,3.

Il faut donc chercher à donner au métal non seulement une grande résistance à la rupture, mais encore une grande élasticité, pourvu que le fil revienne bien à sa longueur primitive dans l'intervalle des tensions où on se propose de le faire travailler. Si le coefficient ε admis pour le bronze silicieux français, d'après son allongement à la rupture, est exact (ce qui, d'ailleurs, n'est pas prouvé, puisque le métal ne se trouve pas dans les mêmes conditions), ce ne serait pas un avan-

tage, comme le montrent les tables ci-dessus. Mais, je le répète, ce n'est pas un chiffre d'expérience.

Pour terminer la comparaison, il ne reste à parler que du mode d'attache sur l'isolateur et du joint.

Le fil est fixé sur l'isolateur par du fil de 2 millimètres au moyen d'un arrêt simple (*fig.* 2) ou d'un arrêt croisé (*fig.* 3).

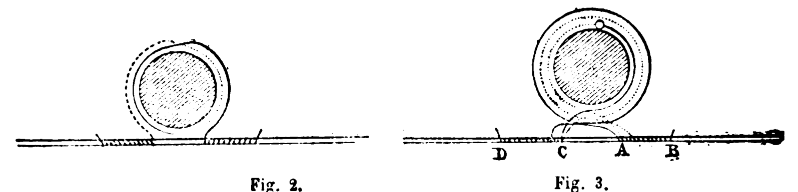


Fig. 2. Fig. 3.

L'arrêt simple emploie 45 centimètres de fil de 2 millimètres, et l'arrêt croisé 65 centimètres approximativement.

La ligature est représentée en plein et en pointillé à une petite distance de l'isolateur pour mieux suivre la forme du nœud. L'arrêt simple se comprend facilement; le fil peut prendre un léger déplacement favorable à la bonne tenue de la ligne en cas de rupture. (Voir Culley, *Manuel de télégraphie pratique*, p. 178.) L'arrêt croisé s'emploie lorsque le fil doit être fixé avec plus de solidité, par exemple entre deux portées inégales. Si l'on suit le fil à ligature pointillé à partir du point O, on voit qu'il vient faire quelques spires en A, puis fait le tour de l'isolateur sur la gauche pour se terminer en CD. L'autre moitié, représentée par un trait plein, fait quelques spires en C, puis s'enroule à droite sur le collet de l'isolateur pour se terminer en AB. Le fil de ligne n'est pas protégé des frottements contre l'isolateur : c'est un inconvénient (*).

(*) Il semble que l'arrêtage à tous les poteaux, avec le nœud simple ou

Les soudures des fils se font au moyen d'un manchon (en bronze), comme pour les fils de fer, en faisant en plus de chaque côté une torsade de 4 à 5 spires. Le manchon est ensuite rempli de soudure ainsi que les spires. Le décapage s'obtient au moyen d'acide chlorhydrique décomposé par du zinc en excès dans la solution. On se sert d'un fer à souder, ou bien on verse la soudure fondue sur le joint au moyen d'une cuiller. Cette dernière manière d'opérer est très rapide, et les soudures sont excellentes.

En résumé, on voit que les lignes en cuivre, en France et en Angleterre, ne diffèrent que par quelques détails de construction, mais que les qualités mécaniques et électriques des nouveaux conducteurs sont les mêmes.

A. BARBARAT.

croisé, n'est pas favorable au maintien d'un bon réglage. Quand le fil a glissé dans un portée pour une raison quelconque, il ne revient pas à sa position primitive et la ligne est déréglée. Ce glissement se produit toujours, car les poteaux tournent dans le sens des fibres du bois quand elles sont en hélice pendant la mauvaise saison, l'effet produit étant analogue à celui de l'eau sur une corde. La rotation atteint quelquefois 45°. L'arrêtage serait meilleur s'il n'était fait que tous les 500 mètres à deux poteaux consécutifs. Pour les poteaux intermédiaires, on se contenterait d'un simple collier empêchant le fils de quitter la tête de l'isolateur, mais lui permettant de glisser facilement à mesure que l'isolateur se déplace. C'est ce qu'on fait du reste sur les lignes en fil de fer.

L'inconvénient n'existe pas pour les lignes anglaises qui font l'objet de la présente comparaison, car l'isolateur est fixé sur traverses horizontales et non au poteau lui-même.

ENREGISTREUR MÉCANIQUE ET AUTOMATIQUE

DES SIGNAUX TRANSMIS

PAR

LES TÉLÉGRAPHES ET LES PROJECTEURS OPTIQUES (*).

Les appareils destinés aux transmissions optiques comprennent généralement, renfermés dans une boite : un *objectif d'émission*, au foyer principal duquel se trouve la *source lumineuse;* un *manipulateur* et une *lunette réceptrice*. Un *petit écran*, commandé par le manipulateur, intercepte les *rayons* de la source lumineuse; ils sont lancés et dirigés dans l'espace lorsque l'écran est déplacé par le jeu du manipulateur. Ces rayons sont reçus par le poste optique correspondant. On réalise ainsi en rayons lumineux, suivant la durée d'émission, brève ou longue, les signaux conventionnels du genre Morse. La correspondance terminée, un verrou fixe le manipulateur et par suite l'écran, dans la position du *feu fixe*, ou rayon continu dans l'espace.

Cette transmission offre de grands avantages par sa simplicité, mais elle a l'inconvénient de ne laisser aucune trace matérielle, automatique, des dépêches transmises et reçues. Un télégramme mal transmis ou mal

(*) *Comptes rendus*, 17 octobre 1887, Note de M. E. Ducretet, présentée par M. F. Perrier.

collationné laisse subsister une ambiguïté sujette à contestations et engage de graves responsabilités. Il est donc évident qu'il y a une très grande importance, surtout dans les opérations militaires, à pouvoir garder une trace, indéniable, *automatique*, des dépêches transmises et répétées.

En 1873, au moment où je construisais le télégraphe optique du colonel Laussedat, ce savant officier supérieur m'avait démontré l'importance qu'il y aurait à conserver la trace matérielle des signaux optiques; nos essais divers d'application du Morse électrique ordinaire ne nous donnèrent pas les résultats pratiques que nous en attendions.

Le nouvel appareil que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie donne cette solution par des moyens entièrement *mécaniques* et *automatiques;* il pourra être aisément appliqué aux grands projecteurs électriques et aux appareils optiques, militaires, des postes fixes. Un modèle plus réduit sera combiné pour les appareils de campagne plus portatifs.

Ce dispositif rend automatiques l'*émission* des signaux optiques et leur *inscription*, cela sans aucune préoccupation ni préparation de la part du télégraphiste. Il assure ainsi la sécurité et le contrôle des dépêches transmises et reçues, chaque poste devant répéter celles qu'il a reçues de son correspondant optique. Au repos ou dans la position du *feu fixe*, automatiquement, aucune dépêche ne peut être reçue ni transmise. L'appareil mis en marche, tous les mouvements communiqués au manipulateur, et par suite au rayon d'émission, sont inscrits automatiquement sur la bande de papier. Toute responsabilité est ainsi enlevée aux télégraphistes, lesquels, sachant que toutes leurs opé-

rations seront imprimées automatiquement, apporteront tout le soin et l'attention nécessaires.

Suivant la *fig.* 1 ci-après, la pédale-manipulateur P agit, par l'intermédiaire d'une tige articulée, sur un

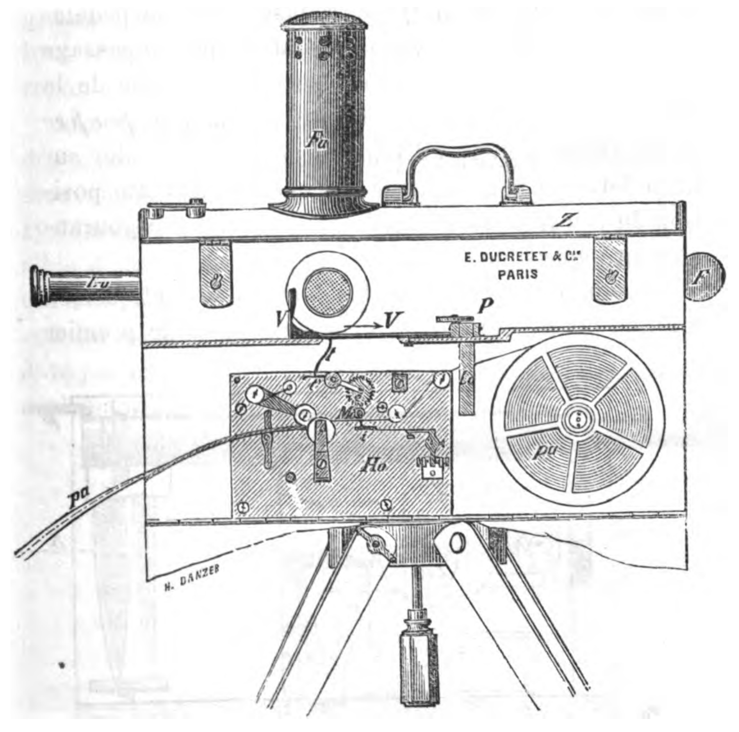


Fig. 1.

système de leviers combinés pour produire automatiquement le déclenchement d'un rouage et le déroulement de la bande de papier ; en même temps elle produit l'impression du signal, bref ou long, et l'ouverture d'émission du rayon lumineux.

Tous ces organes sont solidaires ; ils sont commandés, automatiquement, *d'un seul coup*, par le jeu

d'une seule pièce, en forme de verrou, V, produisant rapidement la mise en marche ou l'arrêt.

Au repos, l'appareil est toujours dans la position du *feu fixe;* le verrou V est alors poussé à fond et, dans le même temps, il enraye le rouage Ho et la pédale-manipulateur P; en même temps aussi, par le passage de la tige *t* sur *t'*, le tampon encreur s'éloigne de la molette imprimeur. Pendant toute la durée du *feu fixe* ou du repos, l'encre du tampon ne peut s'écouler sur la molette, et par suite sur le papier. Dans cette position du *feu fixe*, la manipulation est rendue rigoureusement impossible.

Au signal convenu entre les deux postes optiques en station, on tire le verrou V; comme dans le premier

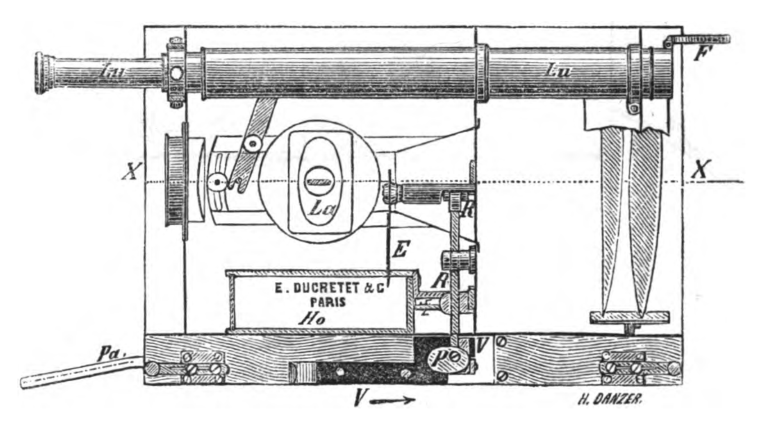


Fig. 2.

cas, *ce seul mouvement*, automatiquement, supprime le *feu fixe*, l'écran E intercepte alors l'ouverture d'émission XX des rayons de la source lumineuse (*fig.* 2); dans le même temps, le rouage est dégagé, il laisse défiler la bande de papier; la pédale P est rendue libre

et le tampon encreur se met en contact avec la molette Mo. Tous les mouvements, brefs ou longs, communiqués à la pédale P, et par suite à l'écran E, sont alors imprimés sur la bande de papier sans fin. Le télégramme optique terminé, on pousse le verrou V et tout rentre dans la position première : *feu fixe*, ou repos.

Aux deux postes, départ et arrivée, tout se réduit donc, sans préoccupations ni préparations, à un seul mouvement pour l'arrêt ou la mise en marche. Tout le système est à l'abri; la bande de papier seule est visible dans la partie imprimée, donnant *exactement* ce qui a été lancé dans l'espace. Ce télegramme peut être ensuite détaché de l'appareil, après avoir été signé et daté par le poste des télégraphistes, et mis en lieu sûr, réglementaire.

CHRONIQUE.

De l'emploi des aimants dans la fabrication du papier.

Il arrive souvent dans la fabrication du papier que, par suite de l'usure des machines, des poussières de fer tombent dans la pâte et produisent des taches de rouille très nuisibles. L'inconvénient est d'autant plus grand que ces taches n'apparaissent pas toujours immédiatement; elles se montrent en général au moment où l'on mouille le papier pour l'impression et occasionnent alors une perte assez importante.

Ce défaut peut-être, paraît-il, évité d'une manière très simple au moyen d'aimants. Une sorte de peigne en acier, muni de larges dents obliques, est placé sur le passage de la pâte liquide qui sort de la machine. Ces dents, qui sont en acier aimanté, retiennent les particules de fer mélangées à la pâte, et celle-ci peut être sans aucun inconvénient employée dans la fabrication.

(*Bulletin international de l'électricité*, 28 novembre 1887.)

Nécrologie.

M. RAYNAUD (François-Emmanuel-Jules).

Le Comité de rédaction des *Annales télégraphiques* a fait une nouvelle et bien douloureuse perte, qui sera vivement ressentie par tous les lecteurs de ce recueil.

M. RAYNAUD (**François-Emmanuel-Jules**), qui, après avoir été longtemps secrétaire des *Annales*, avait été appelé, depuis moins d'un an, à présider le Comité, est tombé, le 4 janvier 1888,

sous les balles d'un assassin et a succombé aux suites de ses blessures après six jours de cruelles souffrances.

Cet odieux attentat a excité une profonde émotion et de vives sympathies non seulement parmi les amis de M. Raynaud, dans le personnel de l'administration à laquelle il appartenait et dans les divers services publics auxquels il prêtait une collaboration si appréciée, mais encore, nous ne craignons pas de le dire, dans le pays tout entier et même à l'étranger. Nous nous efforcerons d'imposer silence à notre indignation.

Depuis un certain temps, M. Raynaud, qui, par son caractère, méritait tous les respects, était cependant en butte aux menaces de M. Mimault, commis des télégraphes; celui-ci ayant eu la prétention d'inventer un nouvel appareil, lui attribuait, bien à tort, les déboires qu'il avait éprouvés dans ses spéculations.

Dans la matinée du 4 janvier, entre onze heures et demie et midi, après avoir quitté son cabinet, M. Raynaud suivait la rue de Bellechasse pour regagner son domicile par le boulevard Saint-Germain; M. Mimault, qui guettait son passage, ne tarda pas à le rejoindre et, sans attirer son attention, sans proférer une parole, tira froidement sur lui à bout portant cinq coups de revolver. Blessé grièvement, M. Raynaud dut être transporté à la pharmacie la plus voisine pour y recevoir les soins que réclamait son état. On reconnut qu'il avait été atteint en quatre endroits au moins et que deux balles avaient pénétré profondément dans les chairs et étaient restées l'une dans les intestins, l'autre dans l'avant-bras gauche.

Au premier avis de cette criminelle agression, M. Coulon, directeur général des postes et des télégraphes, accourut auprès du blessé pour l'encourager, veiller à ce qu'il fût convenablement soigné et le faire transporter à son domicile. Il voulut lui-même préparer Mme Raynaud à ce triste retour. M. Raynaud supporta courageusement le pénible trajet, sans se plaindre des intolérables douleurs qu'il lui causait.

On put concevoir un moment l'espoir que la science et le dévouement des éminents praticiens et professeurs, auxquels l'avait confié la sollicitude de M. Coulon, préviendrait le fatal dénouement.

La balle entrée par les reins avait causé dans l'intestin les

plus graves désordres, contre lesquels la science était, hélas ! impuissante. Après de poignantes alternatives, la maladie l'emporta, et M. Raynaud rendit le dernier soupir le 10 janvier, à trois heures du matin, soutenu par sa digne compagne qui l'avait entouré des soins les plus dévoués.

Il avait traversé sans faiblir ce long martyr de six jours et n'avait trouvé pour son meurtrier que des paroles d'indulgence.

M. Mimault aurait déclaré qu'il avait été poussé au crime par la vengeance. La justice se souviendra qu'il avait déjà, en 1886, attiré l'attention sur lui en attaquant, en plein boulevard, des élèves de l'École polytechnique et se prononcera sur les véritables mobiles. Mais nous ne serons contredit par aucun de ceux qui connaissaient Raynaud, si nous rappelons que l'intégrité de son caractère l'élevait au-dessus d'un soupçon.

Depuis 1872, depuis seize ans qu'il était appelé par ses fonctions à examiner de nombreux projets ou propositions de perfectionnement, sa règle de conduite était l'amour du devoir professionnel, le souci des intérêts de l'administration ou de l'État qu'il cherchait à sauvegarder en ménageant les intérêts particuliers. Il apportait dans ses relations avec les inventeurs une aménité prévenante, joignant volontiers des conseils aux critiques qu'il était obligé de formuler. Les travailleurs sérieux, ses collaborateurs de la première et de la dernière heure pourraient en témoigner au besoin, n'ont eu qu'à se louer de ses procédés bienveillants, discrets et courtois.

A la première nouvelle de l'attentat et pendant sa maladie, il lui est arrivé de toutes parts d'éclatantes marques d'estime et d'affection auxquelles le Chef de l'État lui-même a bien voulu s'associer. Sa mort a amené une explosion de sympathies et de regrets et ses obsèques ont été une véritable manifestation de deuil public. Elles ont eu lieu le jeudi 12 janvier 1888.

Mme Raynaud, qui a déployé un admirable courage, une énergie et une fermeté surhumaines, avait tenu à accompagner jusqu'à sa dernière demeure son infortuné et regretté mari.

M. le Conseiller d'État, Directeur général des postes et des télégraphes, assisté du Conseil d'administration, conduisait la famille administrative. Le Président de la République s'était

fait représenter par le général Brugère. Le Ministre de la guerre avait envoyé un colonel et plusieurs officiers de l'état-major général. M. Tirard, ministre des finances, qui avait dans ses attributions le service des postes et des télégraphes, était venu s'associer au deuil de ce service. Deux anciens ministres des postes et des télégraphes, de nombreux sénateurs et députés, témoignaient par leur présence de l'universelle estime dont jouissait M. Raynaud.

Tous les services de la Direction générale des postes et des télégraphes, à leur tête l'École supérieure de télégraphie, la plupart des administrations publiques étaient largement représentés. On remarquait parmi les nombreuses députations venues pour rendre hommage à M. Raynaud, celle de l'École polytechnique conduite par le général commandant, celle du service de la télégraphie militaire, auquel il appartenait comme directeur de télégraphie d'armée.

L'église Saint-Nicolas-du-Chardonnet, dans laquelle a été célébré le service religieux, était trop étroite pour contenir la foule sympathique et si profondément impressionnée qui se pressait aux abords.

Le cercueil disparaissait couvert de magnifiques couronnes.

M. Raynaud, Ingénieur des télégraphes, Directeur de l'École supérieure de télégraphie, Docteur ès sciences, était en outre :

Répétiteur à l'École polytechnique,
Membre du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer,
Membre du Conseil de la Société d'encouragement à l'industrie nationale,
Membre fondateur de la Société de physique,
Membre du Comité d'administration de la Société internationale des électriciens,
Membre de la Société des Ingénieurs télégraphiques et électriciens d'Angleterre,
Officier de l'Ordre national de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique,
Officier de la Couronne d'Italie,
Commandeur du Nicham, etc.

Les honneurs militaires ont été rendus par une compagnie d'infanterie.

Les cordons du poêle étaient tenus par MM. :

Brame, Inspecteur général des ponts et chaussées, Président du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer;
Mascart, Membre de l'Institut, Directeur du Bureau central météorologique, Professeur au Collège de France, Président de la Société internationale des électriciens;
Le général Barbe, Commandant l'École polytechnique;
Baron, Directeur de l'exploitation des postes et télégraphes,
Fribourg, Directeur du matériel et de la construction,
Gody, Chef de bureau du personnel, à la Direction générale des postes et des télégraphes.

Après le service religieux, le convoi s'est dirigé sur la gare de Lyon, escorté par une double haie de facteurs de la poste et du télégraphe. En présence de Mme Raynaud, dont le courage n'a pas faibli un seul instant dans la douloureuse tâche qu'elle s'était imposée, d'une assistance recueillie et de nombreux amis, M. le Directeur général des postes et des télégraphes, en termes élevés et avec une éloquence entraînante, a rendu justice à la mémoire de cet homme de cœur victime de son devoir. Trois discours rappelant ses titres et exprimant les regrets universels que cause la perte de M. Raynaud ont ensuite été prononcés par M. Mercadier, Directeur des études à l'École polytechnique, au nom de cette École; par M. Mascart, Membre de l'Institut, professeur au Collège de France, au nom de la Société internationale des électriciens, et par M. de Romilly, Président de la Société française de physique, au nom de cette Société.

A titre exceptionnel, la Société des Ingénieurs télégraphiques et des électriciens de Londres avait chargé son délégué, M. Aylmer, de la représenter, voulant ainsi témoigner de sa haute estime pour M. Raynaud, qui faisait partie de cette Société comme membre étranger.

Le cercueil a été déposé sur le wagon qui devait le transporter à Trans (Var), où l'inhumation a eu lieu dans un caveau de famille. A son passage à Marseille, où M. Raynaud avait

laissé de fidèles souvenirs, une nombreuse députation de fonctionnaires du bureau central des télégraphes s'est présentée pour saluer sa dépouille et déposer sur son cercueil une magnifique couronne de fleurs. M. Duportal, Directeur des postes et télégraphes des Bouches-du-Rhône, qui était à sa tête, a prononcé une allocution exprimant les regrets de tous et les respectueuses sympathies qui accompagnaient M[me] Raynaud.

A Trans enfin, la ville natale de Raynaud, qui devait conserver ses cendres, de nouveaux et touchants hommages lui ont été rendus par la population elle-même que la catastrophe avait douloureusement émue et par un certain nombre de personnes et d'amis venus des environs.

Au cimetière, plusieurs discours ont été prononcés. M. Henri Paul, Préfet d'Alger, a parlé au nom des anciens élèves du lycée de Marseille; M. Félix Martin, Directeur de la Compagnie des chemins de fer du sud de la France, au nom de ses camarades de promotion de l'École polytechnique; M. Portal, avocat à Draguignan, originaire de Trans, au nom des habitants et M. Garnier, filateur, au nom de la Société de secours mutuels, dont M. Raynaud était membre honoraire.

Les *Annales* auxquelles M. Raynaud était sincèrement attaché, qu'il avait largement contribué à faire revivre après une longue interruption, publieront une notice sur sa carrière administrative et ses travaux. Nous nous bornerons aujourd'hui à reproduire les discours prononcés à ses obsèques et sur sa tombe.

DISCOURS DE M. GEORGES COULON,

Conseiller d'État, Directeur général des postes et des télégraphes.

J'étais retenu à l'extrémité de la France par les besoins du service, lorsque j'ai appris la funèbre nouvelle; j'accours ce matin pour rendre à la hâte, au nom de la grande famille postale et télégraphique, un dernier hommage à l'homme éminent que nous venons de perdre.

A sa sortie de l'École polytechnique en 1862, Raynaud

entra dans notre administration comme élève ingénieur; il franchit successivement tous les échelons de la hiérarchie administrative jusqu'au grade de directeur-ingénieur; c'est en cette qualité qu'en mai 1887 il était nommé directeur de notre École supérieure de télégraphie.

On vous dira, tout à l'heure, avec une magistrale autorité, quelle a été la belle carrière scientifique parcourue par Raynaud, ses remarquables travaux dans le domaine de la télégraphie, le rang élevé qu'il occupait dans le monde savant; il m'appartient, à moi, de vous le faire connaître, tel qu'il m'est apparu dans des rapports de service trop fugitifs hélas!

Raynaud appartenait à cette forte race d'hommes qui mettent au service de l'État, avec autant de modestie que de dévouement, leur science et leur intégrité; esprit ouvert, libéral, merveilleusement équilibré, il consacrait dans son enseignement tous ses efforts à élever au niveau des jeunes gens sortis des grandes écoles de l'État tous ceux qui ne lui apportaient que leur intelligence et leur amour du travail.

Plus fier de leurs succès que des siens propres, il était comme à l'affût des idées nouvelles qui pouvaient germer dans l'esprit de ses élèves pour les fortifier et les développer. Ah! les beaux projets que nous avions formés ensemble pour transformer cette école qu'il aimait tant et que nous voulions ouvrir toute grande à des capacités nombreuses, en vue d'y former des générations d'agents supérieurs, jeunes, actifs, instruits, préparés à toutes les innovations sérieusement étudiées! Avec quel serrement de cœur je lirai seul désormais ces notes préparées par Raynaud, pour un travail en commun!

Cet homme dont l'unique pensée était de chercher la vérité dans la science ne pouvait s'accoutumer à rencontrer la fausseté dans la vie; c'est avec la plus ardente sollicitude que, dans les consultations qui lui étaient demandées, il défendait les deniers de l'État contre ces prétendus savants

qui exploitent la crédulité publique, quand ils ne sont pas dupes eux-mêmes de leur propre infatuation, ou contre ces impudents qui invoquent des raisons tirées du progrès scientifique et national pour dissimuler des intérêts de l'ordre le plus vulgaire. Mais quand il se trouvait en présence d'une conviction sérieuse et sincère, comme il se montrait méfiant de ses propres connaissances, attentif à n'éveiller aucune susceptibilité légitime! Ses objections étaient alors discrètes, pleines de tact et de raisons toujours empreintes de la plus exquise bienveillance.

Ah! s'il était besoin d'une preuve de sa bonté parfaite, je l'aurais trouvée dans l'expansion de douleur profonde qui retentit dans toute cette maison quand j'y vins apporter la nouvelle du tragique événement.

J'entendrai toujours le cri déchirant que poussa celle qui fut la compagne de sa vie, lorsque avec tous les ménagements qu'exigeait une si triste mission, je lui fis entrevoir le malheur qui venait de la frapper.

Hélas! dans ses prévisions, son amour était plus perspicace que ne le fut notre amitié alors pleine d'espoir! et quand nous apportâmes la civière au foyer domestique, je vois encore cette noble femme toute tremblante de la plus poignante anxiété, attendant qu'il nous plût de lever le voile qui lui cachait le visage du blessé, impassible dans sa voix, dans son geste, pour ne pas trahir une émotion dont l'effet pouvait lui ravir ce qui lui restait encore d'une vie qui lui était si chère.

Ah! madame, en présence d'une pareille douleur si courageusement supportée, ce serait vous faire une singulière injure que d'essayer une consolation. Je me borne, au nom de tous ceux qui ont connu Raynaud et qui seront vos amis de demain, à déposer pieusement à vos pieds le tribut de notre respect et de notre inaltérable dévouement.

Pauvre cher Raynaud! pendant que tu gravissais ce long calvaire, qui pour toi s'est étendu de la place où tu es

tombé mortellement frappé à celle où tu devais succomber, tes souffrances, je le sais, ont été cruelles.

Tu n'as pas fait entendre une plainte, une malédiction. Ta bouche ne s'est ouverte que pour adresser des remerciements affectueux à ceux qui t'assistaient et j'apprends à l'instant que la dernière parole qui est tombée de tes lèvres a été une parole de miséricorde.

Mais, si ta générosité a prononcé le pardon, ta mort crie l'expiation. Nous sommes là, nous, tes collègues, tes compagnons de lutte dans l'accomplissement du devoir, pour la demander à la presse, à l'opinion, à la justice enfin.

S'il y a des fous, qu'on les enferme. S'il y a des coupables, qu'on les condamne; mais il n'est pas possible que, dans une société civilisée, il se constitue une catégorie de gens qui aient le sanglant privilège de passer impunément entre l'hospice et la prison, pour se jeter le revolver au poing, au gré de leur fanatisme, sur des hommes qui, comme toi, sont l'élite et la force d'une nation.

Au nom de cette grande administration des postes et des télégraphes sur laquelle tu as jeté un si vif éclat et que j'ai l'honneur de représenter ici, je t'adresse, cher Raynaud, le suprême adieu!

DISCOURS DE M. MERCADIER.

L'École polytechnique, où Raynaud fut élève en 1860 et répétiteur depuis 1882, devait être représentée ici. Au nom de ceux qui la commandent et l'administrent, de ses conseils, de ses maîtres et de ses élèves, j'ai le triste devoir de lui rendre un juste hommage, en comprimant pour un instant les regrets douloureux du collaborateur et de l'ami.

L'École a été fondée pour donner au pays deux genres de serviteurs également précieux : des soldats et des ingénieurs.

Les premiers sont chargés de défendre la patrie les armes à la main. Mais les autres sont appelés aussi trop souvent à un

combat non moins rude, sur un champ de bataille où la lutte devient de jour en jour plus âpre, la lutte des individus contre l'État, la lutte des intérêts particuliers contre les intérêts de tous.

Raynaud fut un de ceux-là et l'un des meilleurs.

Armé de son désintéressement absolu, de sa science technique profonde, de la droiture naturelle de son esprit et de son cœur, il combattit le bon combat.

Insensible aux sollicitations intéressées, incapable d'une faiblesse, inaccessible à la crainte, il suivit toujours et jusqu'au bout le droit chemin.

Poursuivi par une haine aveugle, il est mort en pardonnant, déplorable victime du devoir professionnel. Malheur irréparable et dont nous sommes tous navrés !

Il y a quelques jours à peine, il était parmi nous, remplissant avec sa rectitude ordinaire, la tâche accoutumée; aujourd'hui nous disons à sa dépouille mortelle un suprême adieu !

Mais que ses amis, que sa famille, que la compagne de sa vie, si cruellement frappée, le sachent bien : l'École où il fut un élève si distingué et un maître si respecté, l'École qui conserve pieusement le souvenir de ceux qui l'ont servie, ne l'oubliera jamais. Elle gardera précieusement la mémoire de cette vie sans tache, de cette figure grave et douce à la fois, de cette alliance si rare de la modestie et du savoir. Elle l'inscrira dans son livre d'or, comme un noble exemple de loyauté, de travail, de courage et d'honneur.

En son nom, cher camarade, cher ami, adieu !

DISCOURS DE M. MASCART

Je ne sais si l'émotion justifiée par la mort prématurée d'un ami me permettra d'aller jusqu'au bout de la tâche et d'exprimer ici, au nom de la Société internationale des électriciens dont M. Raynaud était un des membres fondateurs, la profonde douleur que nous a causée cette fin tragique.

A sa sortie de l'École polytechnique, M. Raynaud entra dans l'administration des télégraphes en 1862, c'est-à-dire à une

époque où l'accroissement des transactions exigeait l'utilisation plus complète des lignes télégraphiques par l'emploi des appareils à marche rapide et l'application simultanée de plusieurs postes sur un fil unique.

Par suite même de cette augmentation du trafic, il est nécessaire de connaître à chaque instant l'état de la ligne dans tout son parcours, de rechercher à distance la nature et la position des défauts ou des accidents, pour y porter remède sans retard. La solution de ces problèmes, que l'exploitation des télégraphes rencontre tous les jours, exige le concours des théories scientifiques les plus délicates; M. Raynaud ne tarda pas à y acquérir une autorité particulière, imaginant lui-même des méthodes nouvelles et propageant la connaissance des progrès accomplis dans les pays étrangers.

Il fut appelé en 1871 à l'administration centrale, où l'étendue de son savoir et la sûreté de son jugement furent mis à profit dans toutes les commissions.

Nous l'avons retrouvé au Congrès des électriciens en 1881 et dans les conférences internationales relatives à l'établissement des unités électriques ou à la protection des câbles sous-marins. Il était partout l'homme utile, disposé au travail, prêt à fournir à l'improviste les renseignements nécessaires, à rédiger des rapports, sans autre souci que de rendre service, toujours modeste et cherchant plutôt à se dérober à l'influence légitime que lui donnait sa compétence approfondie sur toutes les questions de pratique ou de théorie.

M. Raynaud avait pris dans la science un rang distingué. Il a publié un grand nombre de mémoires, soit pour exposer ses recherches personnelles sur les propriétés des câbles et sur les problèmes si complexes de la propagation des signaux télégraphiques, soit pour vulgariser l'emploi de méthodes nouvelles ou décrire les appareils ingénieux éprouvés par la pratique.

A la mort de Blavier, M. Raynaud fut signalé d'une voix unanime comme son successeur naturel dans la direction de l'École supérieure de télégraphie, dont il était depuis l'origine le professeur le plus autorisé, pour maintenir cette grande institution dans la voie du progrès scientifique.

En dehors de son mérite d'ingénieur, de savant et d'admi-

nistrateur, je dois insister surtout sur les qualités dominantes de M. Raynaud, une modestie au-dessus de tout éloge, le sentiment du devoir jusqu'au scrupule, et une bienveillance inépuisable. Que d'inventeurs à qui il a prodigué les conseils de son expérience, et parmi ses collègues plus jeunes, qui forment aujourd'hui la réserve de l'administration, combien ont eu à se louer de l'intérêt fraternel qu'il leur témoignait?

Il a été épargné par le choléra à Toulon en 1865 lorsque, dans la période la plus terrible de l'épidémie, il quittait les ateliers de construction pour passer les nuits au chevet de ses collègues, arracher à la mort un commissaire de marine privé de tout secours, remonter le courage d'un personnel décimé et prendre lui-même la place des expéditeurs de dépêches quand le fléau ou la peur y créait trop de vides.

Il échappa également aux balles étrangères, glorieuses à recevoir celles-là, lorsqu'en 1870, il allait sous le feu de l'ennemi rétablir les communications sur un câble brisé dans la Seine.

C'est cet homme de devoir, dont l'intégrité ne laissait place à aucun soupçon, aussi incapable d'une complaisance que d'une injustice, qui devait succomber dans un guet-apens odieux, pour n'avoir pas cédé à la menace et n'avoir obéi qu'au sentiment d'équité et de justice.

Cette droiture d'esprit qui faisait de M. Raynaud un lien précieux entre notre Société des électriciens et l'administration des télégraphes, le charme de son caractère et l'aménité de ses relations laisseront parmi nous un souvenir ineffaçable.

DISCOURS DE M. DE ROMILLY.

Messieurs,

La Société française de physique vient, par ma voix, apporter son tribut de regrets aux témoignages unanimes de douleur qui éclatent autour des restes de notre aimé collègue.

C'était un des membres les plus écoutés de notre conseil, où l'avait porté l'estime de tous; il y laisse un vide qui ne sera pas comblé. Nous avions pu apprécier l'étendue de ses connaissances et la netteté de son esprit par les articles si bien

étudiés et si purement écrits sur tant de sujets divers, entre autres, sur la propagation de l'électicité, les courants dérivés, les résistances électriques, les lois de Kirchhoff. Sa traduction de Gordon avait encore ajouté à sa réputation de savant. Cependant ses occupations étaient si multiples et ses heures si étroitement enchaînées par ses travaux journaliers, que l'on s'étonne qu'il ait trouvé le secret de préparer encore d'autres publications restées, hélas! inachevées. Ce secret, c'était sa volonté, sa persévérante ardeur qui ne défaillaient jamais.

Il rêvait comme but à sa carrière, pour le moment de la vie où les autres se reposent, tout un vaste champ de recherches dès longtemps mûries et qu'il n'a pu aborder.

Le crime affreux qui a brisé cette belle existence nous a en même temps ravi le fruit de ses futurs travaux.

Notre Société pleure en lui une intelligence rapide, une rare compétence sur toutes les questions scientifiques, une grande sûreté d'appréciation; et elle pleure aussi les nobles qualités de ce cœur d'élite, sa droiture, son aménité, sa modestie égale à sa science. Sa physionomie ouverte, reflétait sa bonne et loyale nature. Nous entendons encore sa voix pleine de gravité, nous voyons encore son bienveillant sourire, toute son allure tranquille, aimable et sympathique et son regard doux et sérieux où brillait tout à coup le vif éclair de sa pensée!... Non cette image n'est pas fugitive... cette image est inoubliable et c'est elle qu'en prononçant ici l'éternel adieu nous emportons dans nos cœurs.

ALLOCUTION DE M. AYLMER.

Messieurs,

Je viens, au nom de la Société des ingénieurs télégraphiques et des électriciens d'Angleterre, demander la permission d'apporter un humble mais très sincère témoignage d'estime et d'affection à l'homme que nous regrettons tant et que nous avons la douleur d'accompagner aujourd'hui.

Nous avions l'honneur de compter M. Raynaud parmi les nôtres; depuis bien des années, il était membre de la Société que je représente ici. Malheureusement pour nous, ses devoirs

administratifs auxquels il était si dévoué et la distance qui le séparait de notre siège social, l'empêchaient d'assister aux séances de la Société. Mais il nous était bien connu, c'est dire que nous l'appréciions. Nous le connaissions par ses recherches, par ses écrits et par ses travaux pratiques et si utiles aux vrais progrès de l'électricité et de la télégraphie.

Depuis bientôt quinze ans que j'ai l'honneur et le plaisir d'avoir des relations suivies avec l'administration des télégraphes français, j'ai eu le privilège d'avoir des rapports fréquents avec M. Raynaud, je l'ai vu à l'œuvre et je suis donc en mesure d'affirmer que sa mort prématurée est une véritable perte pour la France, pour la science qui n'a pas de nationalité et pour la Société au nom de laquelle je parle.

Il était trop jeune, trop actif et trop utile à son pays pour mourir si tôt et assurément il méritait une autre fin que d'être la victime d'un attentat aussi lâche que celui qui a brutalement terminé sa vie. Il sera toujours regretté parmi nous et son souvenir nous sera toujours cher.

ALLOCUTION PRONONCÉE A MARSEILLE PAR M. DUPORTAL.

Madame,

Les agents du Poste Central télégraphique de Marseille, ayant eu connaissance du rapide séjour que vous deviez faire ici au cours du douloureux voyage que vous accomplissez, ont tenu à vous apporter l'expression de leur respectueuse sympathie et à vous assurer de la vive part qu'ils prennent à votre grande et légitime douleur.

C'est que, pour eux, M. Raynaud n'était pas seulement un ingénieur éminent, un des fonctionnaires les plus distingués de l'administration; c'était aussi, en quelque sorte, un enfant de Marseille. C'est ici, en effet, qu'il avait fait une partie de ses études; c'est ici qu'il avait fait ses débuts dans une carrière qu'il devait parcourir d'une façon si brillante; et il avait laissé dans le cœur de tous ceux qui avaient eu l'honneur de servir à ses côtés un souvenir d'autant plus cher et d'autant plus durable, que, depuis, il ne les avait jamais oubliés luimême et n'avait jamais laissé passer une occasion de leur être utile.

Ces considérations, comme aussi les circonstances si dramatiques et si douloureuses qui ont amené sa fin prématurée, si cruelle pour les siens, si regrettable pour l'administration qu'il servait avec tant d'éclat, vous expliqueront, madame, la démarche que les agents du bureau central de Marseille ont voulu faire auprès de vous, démarche à laquelle j'ai d'autant plus tenu à m'associer que, personnellement, j'ai eu plusieurs fois l'occasion d'apprécier les qualités diverses de M. Raynaud et que j'ai gardé de nos trop rares rapports le meilleur souvenir.

Veuillez donc nous permettre, madame, de déposer à vos pieds l'expression de notre bien vive et bien douloureuse sympathie comme aussi celle de notre profond respect.

DISCOURS PRONONCÉ A TRANS, PAR M. PAUL

Quelle douleur autour de ce cercueil !

Vous, Messieurs, vous déplorez la perte d'un concitoyen éminent dont vous connaissiez tous la hauteur d'âme et la bienveillance exquise. Mon deuil à moi est plus lourd encore : Raynaud a été mon camarade, mon ami.

Plus jeune que nous, ses condisciples de « la division des grands » comme on disait au Lycée, nous l'aimions tous parce qu'il était bon, nous l'admirions parce qu'il était notre modèle. Toujours modeste malgré ses succès, toujours affable et prêt à mettre au service des moins favorisés que lui son intelligence si vive, agrandie par un incessant travail, nous le regardions — et cela sans conteste — comme une de ces natures d'élite, marquées pour un avenir prochain et destinées à devenir une des gloires intellectuelles de leur patrie. Et quand venait l'heure des récompenses, le jour des triomphes, son nom, sans cesse prononcé, était sans cesse couvert par d'unanimes applaudissements. Quand il s'agissait de lui, jamais un mot de jalousie, Raynaud emportait tous les prix de la classe, Raynaud les méritait tous.

Après le Lycée, nous nous perdîmes de vue, mais jamais de souvenir. Avec quelle joie (il y a si peu de temps encore, hélas !) nous nous sommes donné, ici-même, cette accolade

si franche, si cordiale des amis d'enfance qui ont longtemps aspiré à se revoir !

Le brillant élève du Lycée de Marseille était devenu un des maîtres dans la science — et surtout dans cette partie de la science féconde en merveilles que nos ancêtres n'eussent pas osé rêver.

L'étude de l'électricité, puissance mystérieuse encore dans ses origines, mais qui révolutionne aussi bien l'humanité dans ses relations morales que dans son pouvoir créateur multiplié à l'infini, cette étude devait tenter la vaste intelligence de Raynaud.

Je ne referai pas la biographie de cet excellent ami. Toute la presse dans notre pays, comme à l'étranger, l'a reproduite. Vous la connaissez : Entré (alors qu'il atteignait à peine l'âge exigé pour concourir) dans la phalange des polytechniciens, phalange glorieuse entre toutes, il y fut toujours aux premiers rangs. Là, comme au Lycée, élève accompli, il devint maître, professeur. Directeur de l'École supérieure de télégraphie, directeur de télégraphie militaire, chevalier, officier de la Légion d'honneur, constellé de décorations étrangères — ce qui ne changeait en rien son caractère modeste et tout d'aménité, — Raynaud fut surtout distingué lors de l'exposition technique d'électricité où il se montra comme un des plus savants parmi les plus savants du monde.

Mais en travaillant aux progrès de l'humanité, il était surtout jaloux de la gloire de la patrie. C'est que, dans cette âme élevée, l'amour de la France primait tout. A côté du savant, il y avait l'homme de courage et, je ne crains pas de le dire, le héros. Lors du siège de Paris par les Prussiens, le câble qui reliait la capitale à Rouen fut rompu. Désespoir nouveau dans nos malheurs ! Raynaud veut y parer. Il sait qu'il y va de sa vie : Qu'importe, c'est pour la France ! Et le voilà, revêtu des humbles vêtements d'un batelier, s'installant au milieu des lignes prussiennes, s'exposant à chaque minute à être reconnu, pris, fusillé sans merci. Et pendant trois jours, il défie le danger ; et pendant trois jours, il fait son œuvre, calme, l'âme sereine en face de la mort qui le menace.

N'est-ce pas, Messieurs, qu'il était de trempe forte, presque surhumaine, cet homme si bienveillant et si doux ?

Et il a fallu qu'un misérable assassin vienne briser une telle existence ; qu'un fou surexcité par l'orgueil et la jalousie dirige une balle criminelle sur toi, mon ami, sur toi que toute injustice révoltait, sur toi qui avais épuisé, en faveur de celui-là même qui devait te frapper, la coupe des bontés dont tu étais prodigue !

Je ne veux pas essayer d'adoucir les tristesses cruelles de la compagne vraiment digne de toi, que tu aimais de l'amour pur des grands cœurs, qui t'aimait jusqu'à l'adoration. Elle a reçu tous les hommages ; elle a entendu toutes les paroles consolatrices ; elle ne les a pas écoutées, elle n'a pas pu les écouter. C'est qu'il est de ces douleurs si profondes que les consolations, quelques répétées qu'elles soient, de si haut qu'elles viennent, ne peuvent rien. Nous n'avons qu'à pleurer avec celle dont ta mort brise la vie.

Adieu, Raynaud, mon bon ami, adieu.

TABLE DES MATIÈRES.

TOME XIVe. — ANNÉE 1887.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mai-Juin.

Numéro de Juillet-Août.

Numéro de Septembre-Octobre.

Numéro de Novembre-Décembre.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE
DES MATIÈRES.

TOME XIVe. — ANNÉE 1887.

R

S

T

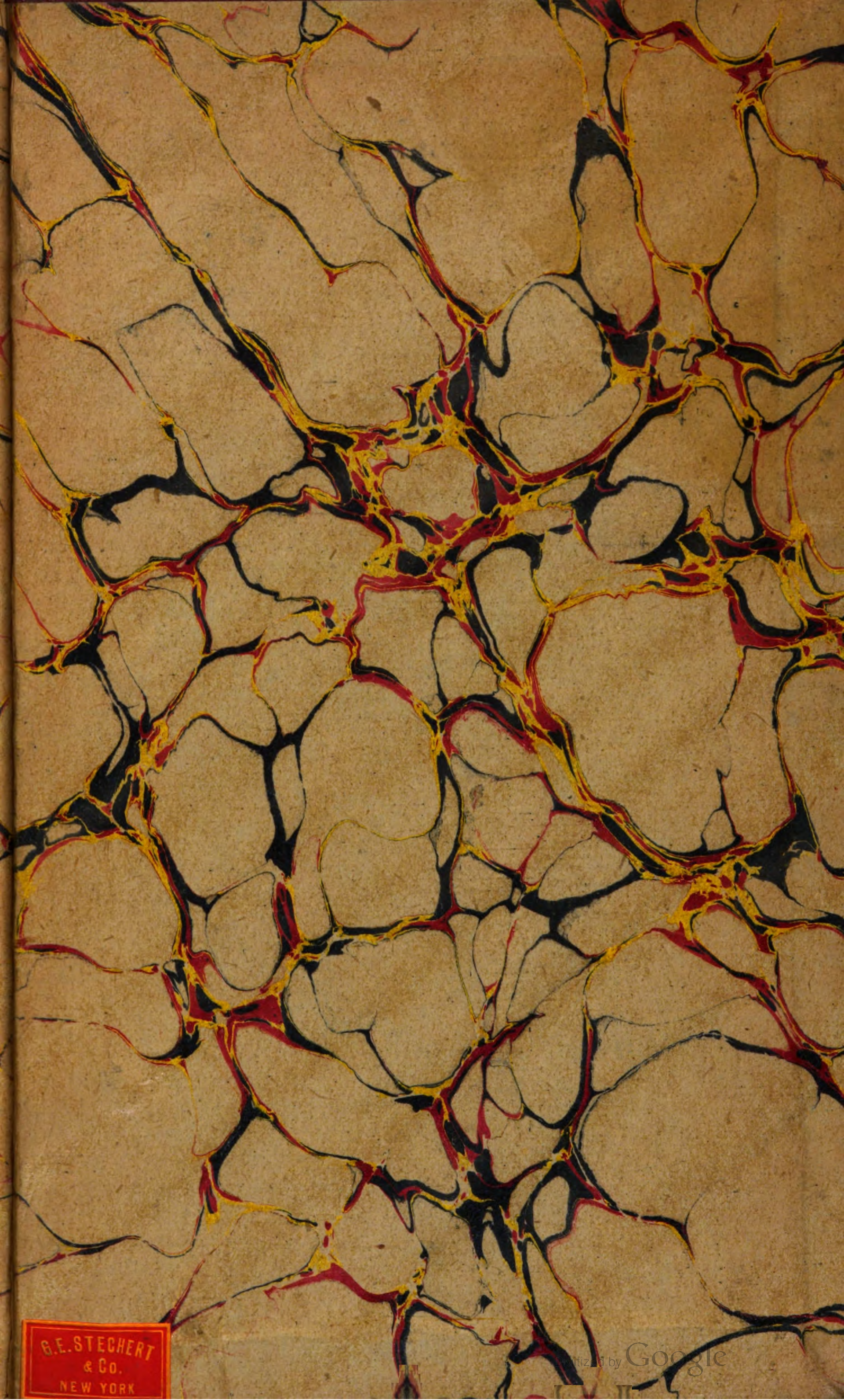
V

W

FIN DES TABLES.

Le Gérant : DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.




G.E. STECHERT
& Co.
NEW YORK